سرد تاريخي يسير الاستيعاب. بيل جيتس

ديفيد كريستيان

أحد مؤسسي مشروع التاريخ الجامع

قصة الأصل



ترجمة: محمد فتحي خضر

تاريخ جامع لكل شيء

من الانفجار العظيم إلى النجوم الأولى، ومجموعتنا الشمسية، والحياة على الأرض، والديناصورات، والإنسان العاقل، والزراعة، والعصر الجليدي، والوقود الحفري، والهبوط على القمر، والعولمة، **ثم ما سيأتي بعد ذلك.**

التنوير

تحويل للصيغة النصية و تنسيق

د / حازم مسعود



مبادرة خازندار

تهدف «مبادرة الخازندار للترجمة» إلى توسيع نشر المعرفة في العالم العربي، من خلال الإسهام في حركة الترجمة إلى اللغة العربية. وتركّز على نشر كتب ذات قيمة معرفية، حَرِصنا على ألّا تكون أكاديمية، بل كتب موجهة إلى عموم القرّاء وفي مجالات متنوعة من الإنسانيات إلى العلوم الاجتماعية والطبيعية؛ وكان لها تأثير في تغيير أفكارنا وعلاقتنا بالكون والعالم وفهمنا لهما.

إننا في «مبادرة خازندار للترجمة» نرى أن إنتاج المعرفة هو الطريق الأوحد للتنمية المستدامة، لنكون مشاركين في صنع الحضارة، لا مجرد متلقين سلبيين، فلا يمكن تحقيق التنمية المستدامة وبناء مجتمع المعرفة الذي نطمح إلى الوصول إليه من دون أن نتجاوز العجز المعرفي الحالي، وهذا لا يأتي إلّا من خلال نشر المعرفة، والترجمة هي واحدة من أهم الوسائل للسير على هذا الطريق.

وبدافع من قناعتنا أننا كوطن وكحضارة، لا سبيل لنا سوى مواكبة التطور الذي حصل ويحصل على نحوٍ متسارع في العالم؛ بل والمساهمة فيه وأن المعرفة هي الأداة لذلك، قررنا المساهمة في هذا الجهد على خطين رئيسيين. أولهما إعادة إنتاج ما فاتنا من كتب مهمة وتأسيسية. وثانيهما، مواكبة الكتب الجديدة التي تترك أثرها في المستويات العلمية والفكرية.

إن «مبادرة خازندار للترجمة» مساهمة متواضعة، وغير هادفة للربح، مستوحاة من الدور الذي لعبه بيت الحكمة في العصر الذهبي للحضارة الإسلامية، وتأمل أن تسير على الدرب الذي بدأه رموز حركة النهضة العربية، وخصوصًا المصرية، من رفاعة الطهطاوي إلى اسماعيل مظهر وطه حسين الذين لم يكتمل مشروعهم النهضوي، بل تم التراجع عنه فكانت النتيجة تراجعًا على كل المستويات المعرفية والاقتصادية والسياسية والاجتماعية.

في ظل التحدي الحضاري الكبير الذي يواجهه مجتمعنا تأمل «مبادرة الخازندار للترجمة» أن تكون نموذجًا لمبادرات أخرى شبيهة نتمنى أن تكون أوسع وأكبر.

هشام الخازندار

تمهيد

نحن نروي القصص كي نجد المعنى في الأشياء. فهذا يجري في دمائنا.

ليا هيلز، «Return To The Heart»

لطالما كانت فكرة رواية قصة الأصل من منظور حديث موجودة دائمًا. وفي حالتي، بدأ الأمر بمقرّر لتاريخ كل شيء بدأتُ في تدريسه في جامعة ماكواري في سيدني في العام ١٩٨٩، وقد نظرت إلى ذلك المقرر بوصفه سبيلًا إلى فهم تاريخ البشرية. في ذلك الوقت كنت قد دَرَستُ ودَرَّستُ التاريخ الروسي والسوفييتي، غير أنني كنت قلقًا من أن التاريخ القومي أو الإمبراطوري (إذ كانت روسيا دولة قومية وإمبراطورية في الوقت ذاته) كان يوصل رسالة خفيّة مفادها أن البشرية، عند أكثر مستوياتها جوهرية، منقسمة إلى قبائل متنافسة. فهل كان من المفيد تدريس هذه الرسالة في عالم يعج بالأسلحة النووية؟ أذكر جيّدًا حين كنت طالبًا في المدرسة، إبان أزمة الصواريخ الكوبية، أنني كنت أعتقد بأننا على وشك أن نشهد نهاية العالم، فقد كان كل شيء في سبيله إلى الدمار، وأذكر أنني كنت أتساءل عمّا إذا كان الأطفال «هناك» في الاتحاد السوفييتي كانوا يشعرون بذعر مماثل. فهم، على أي حال، بشر مثلنا. عشت لبعض الوقت، حين كنتُ طفلًا، في نيجيريا، ومنحني هذا إحساسًا قويًّا بوجود مجتمع بشري واحد يتّسم بالتنوّع الاستثنائي الفريد، وقد تعزّز هذا الشعور حين درستُ، كمراهق، في كليّة العالم المتّحد الأطلسية، وهي مدرسة دولية في جنوب ويلز.

بعدها بعدة عقود، وبصفتي أستاذًا للتاريخ، بدأت في التفكير بشأن كيفية تدريس تاريخ موحّد للبشرية. هل بإمكاني تدريس التراث الذي يتشاركه البشر كافة وأن أحكي تلك القصة بقدرٍ من العظمة والرهبة التي يتّسم بها التاريخ الوطني؟ وقد صرت مقتنعًا بأننا بحاجة إلى قصّة يمكن فيها أن يلعب أسلافنا من العصر الحجري القديم ومزارعو العصر الحجري الحديث دورًا لا يقلّ في أهميته عن دور الحكام والغزاة والأباطرة الذين هيمنوا على السواد الأعظم من هذه الدراسة التاريخية.

وفي النهاية، فهمتُ أن هذه الأفكار لم تكن أصلية. ففي العام ١٩٨٦ ذهب المؤرخ العالمي العظيم ويليام ماكنيل إلى أن كتابة تواريخ «انتصارات البشرية وبلاياها

إجمالًا كانت تمثّل الواجب الأخلاقي للمؤرخين في زمننا هذا»(١)[١]. وحتى قبل ذلك الوقت، وبالروح نفسها، كتب إتش جي ويلز تاريخًا للبشرية استجابةً للمجازر التي شهدتها الحرب العالمية الأولى.

ندرك أنه لا يمكن أن يوجد سلام الآن، إلا سلام شامل في كل أنحاء العالم، ولا رخاء إلا الرخاء العام. لكن لا يمكن للسلام الشامل والرخاء أن يتحقّقا من دون أفكار تاريخية مشتركة... وفي ظلّ عدم وجود شيء عدا التقاليد القومية الضيّقة والأنانية والمتصارعة، من الحتمي على الأعراق والشعوب أن تنجرف نحو الصراع والدمار(٢)[٢].

فهم ويلز شيئًا آخر كذلك: إنك إذا أردت أن تُدَرِّس تاريخ البشرية، فستحتاج على الأرجح إلى تدريس تاريخ كل شيء. ولهذا السبب تحوّل كتاب Outline of History الذي ألَّفه ويلز إلى تاريخ للكون. فمن أجل فهم تاريخ البشرية، عليك أن تفهم كيف تطوّر ذلك النوع العجيب، وهو ما يعني معرفة تطوّر الحياة على كوكب الأرض، وهو ما يعني معرفة تطوّر كوكب الأرض، وهو ما يعني معرفة تطوّر النجوم والكواكب، وهو ما يعني معرفة تطور الكون. واليوم، يمكننا أن نحكي القصّة بقدر من الدقّة والصّرامة العلميّة لم يكن يخطر على بال أحد حين ألّف ويلز كتابه.

لقد كان ويلز يبحث عن المعرفة الموحِّدة، المعرفة التي تربط بين المجالات وكذلك بين البشر. فقصص الأصل كلّها توحّد المعرفة، حتّى قصص الأصل الخاصّة بالتأريخ القومي. ومن الممكن أن تقودك أشمل هذه القصص إلى نطاقات زمنيّة عديدة وإلى دوائر عديدة متّحدة المركز من الفهم والهوية، من النفس إلى العائلة والعشيرة، إلى الأمة والمجموعة اللغوية، أو الانتساب الديني، إلى الدوائر الضخمة للبشرية والحياة، وفي النهاية إلى فكرة أنك جزء من عالم أو كون كامل.

لكن في القرون الأخيرة، أظهرت الصلات المتزايدة بين الثقافات إلى أي مدى تكون قصص الأصل والديانات كلّها راسخة في العادات والبيئات المحلية. ولهذا

---

(١)[١] William H. McNeill, (Mythistory, or Troth Myth, History, and Historians) American Historical Review 91, no.1 (Feb ١٩٨٦): ٧.

(٢)[٢] H.G.Wells, outline of History: Being a Plain History of Life and Mankind, 3rd ed (New York: Macmillan, 1921). Vi.

السبب تسبّبت العولمة وانتشار الأفكار الجديدة في ضعف الإيمان بالمعرفة التقليدية. وحتّى أشدّ المؤمنين بدأوا يرون أنه توجد عدّة قصص للأصل وأنها تروي حوادث مختلفة. وقد تمثّلت استجابة البعض في الدفاع الشرس، بل والعنيف، عن تقاليدهم الدينية أو القبلية أو القومية. غير أن كثيرًا من الناس فقدوا إيمانهم وقناعاتهم، وفقدوا معها إحساسهم بذاتهم وبمكانهم في الكون. وذلك الفقدان للإيمان يساعد في تفسير إحساس التنافر المتغلغل، ذلك الإحساس بانعدام الهدف والمعنى، بل والقنوط أحيانًا، والذي شكّل الكثير من الأدب والفن والفلسفة والدراسة في القرن العشرين. ففي نظر الكثيرين، وفّرت القومية إحساسًا ما بالانتماء، لكن في عالم اليوم المترابط الذي تسوده العولمة، من الجلي أن القومية تفرّق بين البشر، حتى وهي تتيح التواصل بين المواطنين داخل الدولة الواحدة.

لقد ألّفت هذا الكتاب بينما يحدوني التفاؤل بأننا، نحن أبناء العصر الحديث، ليس محكومًا علينا البقاء في حالة من التشرذم وانعدام المعنى. ففي داخل الإعصار الإبداعي للبشريّة توجد قصّة أصل جديدة عالمية مليئة بالمعنى والإبهار والغموض، شأنها شأن أي قصّة أصل أخرى، غير أنها مبنية على الدراسات العلميّة الحديثة في كثير من فروع المعرفة(٣)[٣]. تلك القصّة أبعد ما تكون عن الاكتمال، وربما تحتاج إلى تضمين الرؤى الثاقبة المأخوذة من قصص الأصل الأقدم، والمتعلّقة بكيفية العيش على نحو حسن، وكذا باستدامة المعيشة. لكن من الجدير معرفة هذه القصّة، لأنها تقوم على تراث عالمي من المعلومات والمعارف المُختبرَة بحرص، وهي أوّل قصّة أصل تعتنق المجتمعات والثقافات البشرية من كل أنحاء العالم. إنها مشروع جماعي عالمي، قصّة صالحة للحكي في بوينس أيرس كما في بكين، وفي لاجوس كما في لندن. واليوم، ينخرط كثيرون من الباحثين في المهمّة المثيرة المتمثّلة في بناء ورواية قصّة أصل حديثة، ويبحثون عن الإرشاد وعن إحساس الهدف المشترك الذي قد تقدّمه، شأن كل قصص الأصل الأخرى، ولكن في عالم اليوم الذي تسوده العولمة.

بدأت محاولاتي تدريس تاريخ الكون في العام ١٩٨٩. وفي العام ١٩٩١، وكوسيلة لوصف ما كنت أقوم به، بدأت في استخدام مصطلح «التاريخ

---

[٣](٣) كتب عن الأهمية الحيوية لربط التخصصات العلمية الحديثة بشكل أكبر. انظر: العالم البيولوجي العظيم E.O. Wilson, Consilience: The Unity of Knowledge (London: Abacus, ١٩٩٨).

الجامع»(٤)[٤]. وفقط حين بدأت القصّة تتبلور ببطء أدركت أنني كنت أحاول نسج الخطوط الأساسية لقصّة أصل عالمية بازغة. واليوم، يجري تدريس التاريخ الجامع في الجامعات في كثير من أجزاء العالم المختلفة، ومن خلال «مشروع التاريخ الجامع» يجري تدريس هذا التاريخ في آلاف من المدارس الثانوية.

سوف نحتاج هذا الفهم الجديد للماضي ونحن بصدد التعامل مع التحدّيات والفرص العالميّة العميقة التي يجلبها لنا القرن الحادي والعشرون. وهذا الكتاب هو محاولتي لرواية نسخة معاصرة لهذه القصة الضخمة والمعقّدة والجميلة والملهمة.

---

[٤](٤) استخدمتُ هذا المصطلح أول م(The Case for Big History) journal of world history 2, no.2 (fall١٩٩١): ٢٢٣ - ٣٨.

مقدمة

إن الأشكال التي تظهر وتختفي -التي يعدُّ الجسد واحدًا منها- ما هي إلا لمحات لأطرافي المتراقصة. اعرفني فيها جميعًا، وما الذي ستخشاه؟

كلمات مُتخيَّلة للإله الهندوسي شيفا، مأخوذة من كتاب جوزيف كامبل The Hero with a Thousand Faces

من المستحيلات المطلقة أن تتساوى احتمالية وقوع الحوادث التي وقعت، وتلك الحوادث التي من المحتمل حدوثها، وأي حوادث أخرى لم تقع على الإطلاق.

جيمس جويس، Finnegans Wake

نأتي إلى هذا الكون من دون أن نختار ذلك، في زمن ومكان لا نختارهما. وللحظات عابرة، وكأننا يراعات كونيّة، نسافر برفقة غيرنا من البشر، مع آبائنا، وأشقائنا وشقيقاتنا، ومع أبنائنا وأصدقائنا وأعدائنا. كما نسافر أيضًا مع أشكال الحياة الأخرى، من البكتيريا إلى البابون، ومع الصخور والمحيطات وأضواء الشفق، ومع الأقمار والشهب والكواكب والنجوم، ومع الكواركات والفوتونات والمستعرات العظمى والثقوب السوداء، ومع البزاقات والهواتف الخلوية، ومع كثير وكثير من الفضاء الخاوي. إن الموكب ثري وصاخب ومتنافر وغامض، ورغم أننا نحن البشر سنتركه في النهاية لا محالة، فسيستمرّ الموكب في طريقه. وفي المستقبل البعيد، سينضم مسافرون جدد إلى الموكب ثم يغادرونه. وفي النهاية سيتلاشى الموكب. وبعد مليارات لا تُحصى من الأعوام، سيخبو وكأنه شبح طلع عليه الفجر، ويتحلّل في محيط الطاقة التي ظهر منها في بادئ الأمر.

ما هذا الجمع العجيب الذي نسافر برفقته؟ وما هو مكاننا في الموكب؟ ومن أين انطلق، وإلى أين يتّجه، وكيف سيخبو في نهاية المطاف؟

اليوم، باستطاعتنا نحن البشر أن نروي قصة هذا الموكب أفضل من أي وقت مضى؛ إذ يمكننا أن نحدّد بدقّة مذهلة ما يوجد على بُعد مليارات السنوات الضوئية من الأرض، علاوة على ما كان يحدث منذ مليارات خلت من الأعوام. وبمقدورنا عمل ذلك لأنه صار لدينا عدد أكبر بكثير من قطع أحجية المعرفة، وهو ما يجعل من السهل علينا تبيّن ما قد تبدو عليه الصورة الإجمالية. وهذا إنجاز مذهل، وحديث للغاية. فأجزاء كثيرة من قصّة أصلنا ظهرت للعيان في أثناء حياتي.

إن بإمكاننا أن نبني هذه الخرائط الشاسعة لكوننا ولماضيه، وجزء من السبب يرجع إلى أننا نمتلك أدمغة كبيرة، وشأن كل الكائنات ذات الأدمغة فنحن نستخدم أدمغتنا في بناء خرائط داخلية للعالم، وهذه الخرائط توفّر نوعًا من الواقع الافتراضي الذي يساعدنا في العثور على طريقنا. نحن نعجز عن رؤية العالم بشكل مباشر بكل تفاصيله، إذ إن هذا سيتطلّب امتلاك أدمغة في حجم الكون ذاته، غير أن بمقدورنا بناء خرائط بسيطة للواقع الشديد التعقيد، ونحن نعلم أن تلك الخرائط تتوافق مع جوانب مهمّة من العالم الواقعي. فالمخطّط التقليدي لمترو أنفاق لندن يتجاهل معظم الانحناءات والدورانات، لكنه لا يزال يساعد ملايين المسافرين في كل أنحاء المدينة. وهذا الكتاب يقدم خريطة للكون من نوعيّة مخطط مسار مترو أنفاق لندن.

ما يجعل البشر مختلفين عن كل الأنواع ذات الأدمغة هي اللغة، وهي وسيلة تواصل ذات فعالية استثنائية لأنها تتيح لنا التشارك في إعداد خرائطنا الفردية للعالم، وفي خضم ذلك فإننا نعِدّ خرائط أكبر وأكثر تعقيدًا من تلك التي يمكن لمخٍ منفردٍ أن يبنيها. كما يتيح لنا التشارك اختبار تفاصيل خرائطنا في مقابل ملايين الخرائط الأخرى. وبهذه الطريقة، تبني كل مجموعة من البشر فهمًا للعالم يضم الرؤى والأفكار والخواطر الخاصّة بكثير من الأشخاص على مدار آلاف السنوات وأجيال عديدة. ومن خلال عملية التعلّم الجمعية هذه شيّد البشر، نقطة بنقطة، خرائط شديدة الثراء عن الكون خلال المائتي ألف عام من وجودنا كنوعٍ. وما يعنيه هذا هو أن جزءًا صغيرًا من الكون بدأ ينظر إلى ذاته. فالأمر كما لو أن الكون قد شرع ببطء في فتح عين بعد سبات طويل. واليوم، ترى هذه العين المزيد والمزيد، بمساعدة التبادلات العالمية للأفكار والمعلومات، والدقّة والصّرامة اللتين يتّسم بهما العلم الحديث، والأدوات البحثية الجديدة من مصادمات الجُسَيْمات المهشّمة للذرّات إلى التليسكوبات الموجودة في الفضاء، وبمساعدة شبكات الكمبيوتر ذات القدرات الحاسوبية الهائلة.

والقصّة التي تخبرنا بها هذه الخرائط هي أشدّ قصّة يمكنك تخيّلها روعة وبهاءً.

حين كنت طفلًا، لم أكن أستطيع فهم أي شيء ما لم أضعه على خريطة من نوع ما. وشأن كثيرين من الأشخاص فقد وجدت صعوبة في الربط بين المجالات المنفردة التي كنت أدرسها. فلم تكن ثمّة علاقة بين الأدب والفيزياء، ولم أستطع رؤية أي رابط بين الفلسفة والأحياء، أو بين الدين والرياضيات، أو بين الاقتصاد

والأخلاقيات. وقد واصلت البحث عن إطار عام، شيء أشبه بخريطة عالم تضمّ القارّات والجزر المختلفة للمعرفة البشرية، وأردت أن أتمكّن من رؤية الكيفية التي يتوافق بها كل شيء معًا. لم تفِدني القصص الدينية التقليدية في هذا الصدد لأنني، خلال نشأتي وأنا طفل في نيجيريا، تعلّمت منذ سن مبكرة أن الديانات المختلفة تقدم أطرًا مختلفة، كثيرًا ما تكون متعارضة، لفهم الكيفية التي صار بها الكون على ما هو عليه.

واليوم، ثمة إطار جديد للفهم آخذ في البزوغ في عالمنا الذي تهيمن عليه العولمة. وهذا الإطار يبنيه ويطوره وينشره آلاف البشر من مجالات بحثية متباينة في دول عدة. ويمكن للربط بين هذه الرؤى أن يعيننا على رؤية الأشياء التي نعجز عن رؤيتها من داخل حدود مجال بحثي واحد، إذ يسمح لنا برؤية العالم من على قمة جبل بدلًا من أن نراه ونحن على الأرض. فبإمكاننا رؤية الصّلات التي تربط بين المشاهد البحثيّة المتعدّدة، وذلك حتى نتفكّر على نحو أعمق بشأن موضوعات أوسع نطاقًا مثل طبيعة التعقيد، وطبيعة الحياة، بل وطبيعة نوعنا ذاته! فعلى أيّ حال، نحن ندرس البشر حاليًّا من خلال عدسات معرفية متعدّدة (علم دراسة الإنسان، علم الأحياء، علم وظائف الأعضاء، علم دراسة الرئيسيات، علم النّفس، علم اللّغة، التاريخ، علم الاجتماع)، غير أن التخصّص يجعل من الصّعب على أي فرد أن يتراجع إلى الوراء بمسافة كافية حتى يرى البشريّة ككل.

إن البحث عن قصص الأصل التي تربط بين أنواع مختلفة من المعارف قديم قدم البشرية ذاتها. أحب أن أتصوّر مجموعة من الأشخاص جالسين حول نار منذ أربعين ألف عام بينما الشمس توشك على المغيب. وأتصور وجودهم على الشاطئ الجنوبي لبحيرة مونجو، في منطقة بحيرات ويلاندرا في نيوساوث ويلز، حيث اكتُشفَت أقدم البقايا البشرية في أستراليا. واليوم، هذه المنطقة هي موطن شعوب الباكانتجي والنجيامبا والموتي موتي، غير أننا نعرف أن أسلافهم عاشوا في هذه المنطقة لما لا يقل عن خمسة وأربعين ألف عام.

في العام ١٩٩٢ أُعيدت بقايا أحد الأسلاف (يشار إليه باسم مونجو ١) المكتشَف على يد علماء الآثار في العام ١٩٦٨، أُعيدت إلى مجتمعه الأصلي أخيرًا. كان

هذا الشخص امرأة شابة تعرَّض جثمانها للحرق الجزئي(٥)[٥]. وعلى مسافة نصف كيلومتر عُثر على بقايا شخص آخر (مونجو ٣)، وهو رجل على الأرجح، مات في سن الخمسين، وكان يعاني من التهاب المفاصل ومن تآكل شديد بالأسنان، ربما سببه جذب الألياف بأسنانه من أجل صنع شباك أو حبال. وقد دُفن جثمانه برعاية وتوقير ونُثر عليه أوكسيد الرصاص الأحمر المسحوق، الذي جُلب من مسافة مائتي كيلومتر. وقد أعيد رجل مونجو إلى بحيرة مونجو في نوفمبر من العام ٢٠١٧.

توفي كلا الشخصين منذ أربعين ألف عام، حين كانت بحيرات ويلاندرا، الجافة الآن، مليئة بالماء والأسماك والمحار، وكانت تجتذب العديد من الطيور والحيوانات التي يمكن صيدها أو حبسها(٦)[٦]. كانت الحياة طيّبة للغاية على ضفاف بحيرة مونجو حين كانا على قيد الحياة.

في المحادثات التي أتخيّل أنها دارت وقت الشفق حول النيران، كان يتجمّع رجال ونساء، وفتية وفتيات، وآباء وأجداد، بعضهم ملتحف بفراء الحيوانات ويهدهد الأطفال الرضع. كان الأطفال يطاردون بعضهم بعضًا على حافّة البحيرة بينما كان الكبار ينتهون من التهام وجبة من المحار والسمك وجراد البحر الطازج ولحم الوَلَب. وببطء، تصير المحادثة جادة ويهيمن عليها الأشخاص كبار السنّ. وكما في العديد من أيام الصيف الطويلة وليالي الشتاء الباردة، يعيد الكبار حكي ما سمعوه من أسلافهم ومعلميهم. وهم يطرحون نفس الأسئلة التي أثارت اهتمامي دائمًا: كيف تشكّل المشهد الطبيعي، بكل ما فيه من تلال وبحيرات ووديان ووهاد؟ من أين تأتي النجوم؟ متى عاش أول البشر، ومن أين أتوا؟ هل كان البشر موجودين على الدوام؟ هل ثمة صلة قرابة تجمعنا بسحالي الجوانا وحيوانات الوَلَب والإيمو؟ (إجابة شعب بحيرة مونجو وكذلك العلم الحديث على السؤال الأخير هي «نعم!» حاسمة)، إن رواة القصص يعلّمون التاريخ. وهم يحكون القصص عن الكيفية التي ظهر بها عالمنا إلى الوجود على يد قوى وكيانات جبارة في الماضي السحيق.

---

[٥] (٥) حول تاريخ هذه الاكتشافات» والمنظورات المختلفة عنها من الأركيولوجيين ومن هؤلاء الذين يعيشون بالقرب من بحيرة مونجوء انظر الفيلم الوثائقي القصير لأندرو بايك وآن ماكجرات: رسالة من مونجو

(Ronin Films, ٢٠١٤)

[٦] (٦) مايك سميث له كتاب رائع عن أركيولوجيا أوستراليا الداخلية:

The Archoelogy of Australia’s Deserts (Cambridge University press ٢٠١٣)

رُويت هذه القصص على مدار أيامٍ وليالٍ عديدة، وكانت تصف أفكارًا إرشادية كبيرة لشعب بحيرة مونجو، وهي أفكار راسخة، يمكنها أن تصمد على مر الزمن. ربما يجد بعض الأطفال أن ثمة أجزاءً من القصص معقّدة ومستعصية على الفهم للوهلة الأولى. غير أنهم يسمعون القصص مرّات عدّة في روايات مختلفة، ويعتادون عليها وعلى الأفكار العميقة الموجودة داخل القصص. وبينما يكبر الأطفال، فإنهم يتشرّبون هذه القصص، فيعرفونها على نحو حميم ويقدّرون جمالها وتفاصيلها ومعانيها الدقيقة.

وبينما يتحدّث المعلمون عن النجوم، والمشهد الطبيعي، وحيوانات الومبات والوَلَب، وعن عالم أسلافهم، فإنهم يبنون خريطة واضحة للفهم تبيّن لأفراد المجتمع مكانهم داخل كون ثري وجميل ومخيف أحيانًا: هذا ما أنت عليه، هذا هو المكان الذي أتيتَ منه، هؤلاء من كانوا يوجدون قبل أن تولد، هذا هو الكل الذي أنت جزء صغير منه، هذه هي مسؤوليات وتحدّيات العيش في مجتمع مع آخرين يشبهونك. تتمتّع القصص بقوة كبيرة لأنها محلّ ثقة. وهي تبدو حقيقية لأنها مبنية على أفضل المعارف التي تناقلها الأسلاف على مدار أجيال كثيرة. وقد جرى التحقّق منها مرارًا وتكرارًا تحرّيًا للدقّة والقبول والاتساق، باستخدام المعرفة الثرية المتاحة لمجتمع بحيرة مونجو وأسلافهم وجيرانهم عن الأشخاص والنجوم والمشهد الطبيعي والنباتات والحيوانات.

يمكننا جميعًا الاستفادة من الخرائط التي صنعها أسلافنا. وقد أصرّ عالم الاجتماع الفرنسي العظيم إميل دوركايم على أن الخرائط الكامنة داخل قصص الأصل والديانات لها أهمية جوهرية في إحساسنا بذواتنا. وقد ذهب إلى أنه من دون هذه الخرائط فإن الناس يعانون من إحساس بالقنوط وانعدام المعنى بدرجة شديدة قد تقودهم إلى الانتحار. لا عجب أن كل المجتمعات التي نعرفها وضعت قصص الأصل في قلب منظوماتها التعليمية. ففي العصر الحجري القديم، تعلّم الأطفال قصص الأصل من الكبار، تمامًا مثلما تعلّم الباحثون في وقت لاحق القصص الجوهرية للمسيحية والإسلام والبوذية في جامعات باريس وأكسفورد وبغداد ونالادا.

لكنْ، من المثير للدهشة أن التعليم العلماني الحديث يفتقر إلى قصة أصل موثوق بها تربط بين كل نطاقات الفهم. وهذا من الممكن أن يفسر لماذا يمكن تبيّن إحساس الارتباك والانقسام وفقدان الاتجاه الذي وصفه دوركايم في كل مكان من عالمنا

اليوم، في دلهي وليما كما في لاجوس ولندن. والمشكلة هي أنه في عالم مترابط تسوده العولمة، يوجد عدد كبير من قصص الأصل المحلّية التي تتنافس على ثقة البشر وانتباههم إلى درجة تجعلها تفقد مصداقيتها. ولهذا السبب يركّز المعلمون المعاصرون على أجزاء من القصة، ويتعرّف الطلاب على عالمهم من منظور كل فرعٍ معرفيٍّ منفصل. يتعلّم الناس اليوم أشياء لم يسمع عنها أسلاف شعب بحيرة مونجو مطلقًا، مثل حساب المثلّثات والتاريخ الحديث وكيفية كتابة كود حاسوبي. لكن خلافًا لشعب بحيرة مونجو فإننا نادرًا ما نتشجّع على جمع المعارف في قصّة واحدة متّسقة بالطريقة التي كانت تجمع بها الكرات الأرضية الموجودة في فصول الدراسة التقليدية آلاف الخرائط المحلية في خريطة واحدة كبيرة للعالم. وهذا يترك لنا فهمًا مجزأً للواقع وللمجتمع البشري الذي ننتمي إليه جميعًا.

قصّة أصل حديثة

ومع ذلك... تبزغ أمامنا، شيئًا فشيئًا، قصّة أصل حديثة. ومثل قصص الأصل المروية عند بحيرة مونجو، فقد جمع الأسلاف أجزاء قصتنا الحديثة، وجرى التحقّق منها واختبارها على مرّ أجيال وألفيّات عديدة.

هذه القصّة مختلفة، بطبيعة الحال، عن قصص الأصل الأكثر تقليدية. ويرجع هذا في جزء منه إلى أنها لم تُصَغ في منطقة واحدة أو على يد ثقافة واحدة، وإنما صاغها مجتمع عالمي مؤلّف مما يزيد على سبعة مليارات شخص، وبذا فإنها تجمع المعارف من كل أنحاء العالم. إنها قصّة أصل خاصّة بكل البشر، وهي مبنية على التقاليد العالمية للعلم الحديث.

وخلافًا للعديد من قصص الأصل الأخرى، فإن قصّة الأصل الحديثة تفتقر إلى وجود إله خالق، رغم أن بها طاقات وجُسَيْمات لا تقلّ في غرابتها عن آلهة العديد من قصص الأصل التقليدية. ومثل قصص الأصل الكونفوشيوسية أو البوذية المبكرة، فإن قصّة الأصل الحديثة معنية بالكون كما هو. وأي معنى للوجود لا يأتي من الكون ذاته وإنما من البشرية. «ما معنى الكون؟»، هكذا تساءل جوزيف

كامبل، الباحث في الميثولوجيا والأديان. «ما معنى البرغوث؟ إنه موجود وحسب، هذا ما في الأمر، والمعنى الخاص بك هو أنك موجود وحسب»(٧)[٧].

إن العالم في قصّة الأصل الحديثة أقل استقرارًا، وأكثر اضطرابًا، وأكبر بكثير من العالم في قصص الأصل التقليدية. وتلك السمات تشير إلى مواطن قصور في قصة الأصل الحديثة. فرغم أنها عالمية في نطاقها، فإنها حديثة للغاية وتتّسم بانعدام النضج وكثرة النقاط المبهمة. لقد ظهرت هذه القصّة في وقت محدّد من تاريخ البشر، وتشكّلت بفعل التقاليد الديناميكية والمزلزلة للرأسمالية الحديثة. وهذا يفسّر لماذا تفتقر في صور عدّة إلى الحساسية العميقة للغلاف الحيوي، تلك الحساسية الحاضرة في قصص الأصل الخاصّة بالشعوب الأصلية حول العالم.

إن الكون في قصّة الأصل الحديثة كونٌ مضطربٌ، ديناميكيٌّ، آخذٌ في التطوّر، وهائل الحجم. ويذكّرنا الجيولوجي والتر ألفاريز بحجم الكون عن طريق التساؤل عن عدد النجوم التي يحويها. تضم غالبية المجَرّات نحو ١٠٠ مليار نجم، ويوجد عدد مقارب لهذا من المجَرّات في الكون. وهذا يعني أنه يوجد (ولنأخذ نفسًا عميقًا) ١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠ (٢٢١٠) نجم داخل الكون(٨)[٨]. وتشير المشاهدات الحديثة في أواخر العام ٢٠١٦ إلى أنه ربما يوجد عدد أكبر من هذا من المجَرّات في الكون، لذا لا تتردّد في إضافة بضعة أصفار إلى هذا العدد. وما شمسنا إلا عضوٌ عاديٌّ للغاية في هذه المجموعة الهائلة الحجم.

لا تزال قصّة الأصل الحديثة تحت الإنشاء؛ فتضاف إليها أقسام جديدة، ولا يزال يتعيّن اختبار الأجزاء الموجودة أو تنظيمها، ويتعيّن إزالة بعض الركام والفوضى. كما أنه لا تزال ثمة ثغرات موجودة في هذه القصّة، ومن ثم فمثلها مثل كل قصص الأصل الأخرى لن تفتقر قصّتنا إلى حسّ الغموض والرهبة. لكن في العقود القليلة الماضية صار فهمنا للكون الذي نعيش فيه أغنى بكثير، وربما عزز هذا حسّ الغموض، وكما كتب الفيلسوف الفرنسي بليز باسكال فإن «المعرفة أشبه بالكرة، فكلما زاد حجمها، زاد اتصالها بالمجهول»(٩)[٩]. ورغم كل ما تتّسم به هذه القصّة

---

(٧)[٧] The Pawer of Myth, episode 2, Bill Mover and Joseph Campbell, 1988, http://bilmoavers.com/content/ep-2-joseph-campbell-and-the-power-of-myth-the-message-of-the-myth.

(٨)[٨] Alvarez, A Most Improbable Journey, ٣٣.

(٩)[٩] In Fritjof Capra and Pier Luigi Luisi, The Systems View of Life: A Unifying Vision (Cambridge: Cambridge University Press, ٢٠١٤), ٢٨٠.

من نقائص وشكوك، فمن اللازم علينا معرفتها، تمامًا مثلما احتاج شعب بحيرة مونجو أن يعرفوا قصص الأصل الخاصّة به. وقصّة الأصل الحديثة تخبرنا عن التراث الذي يتشارك فيه البشر كافّة، وبذا فمن الممكن أن تهيّئنا لمواجهة التحدّيات والفرص الهائلة التي نواجهها جميعًا في هذه اللحظة المحورية من تاريخ كوكب الأرض.

في قلب قصّة الأصل الحديثة تكمن فكرة التعقيد المتزايد. كيف ظهر كوننا؟ وكيف ولّد هذا الموكب الثري من الأشياء والقوى والكيانات التي نحن جزء منها؟ نحن لا نعرف حقًّا ما إذا كان يوجد شيء قبل الكون، غير أننا نعلم أنه حين خرج الكون من رحم زبد شاسع من الطاقة، كان بسيطًا للغاية، ولا تزال البساطة هي الحالة الأساسية له. فعلى أي حال لا يزال الجزء الأكبر من الكون عبارة عن فضاء بارد ومظلم وخاوٍ. ومع هذا، ففي البيئات الخاصّة وغير المعتادة، مثل كوكبنا، توجد ظروف مثالية تمامًا، تسمى ظروف جولديلوكس، بيئات تشبه عصيدة الدبّ الصّغير في قصّة جولديلوكس، التي لم تكن ساخنة أو باردة أكثر مما ينبغي، ولم تكن ثخينة أو رقيقة أكثر من اللازم، وإنما مناسبة تمامًا لتطوّر التعقيد المطلوب(١٠)[١٠]. في هذه البيئات المثالية، ظهرت أشياء متزايدة التعقيد على مدار مليارات السنوات، أشياء ذات أجزاء داخلية متحرّكة وعلاقات داخلية أكثر تعقيدًا.
علينا ألا نقع في خطأ افتراض أن الأشياء المعقّدة أفضل من الأشياء البسيطة. غير أن التعقيد يهمّنا بشدّة نحن البشر، لأننا كائنات شديدة التعقيد، والمجتمع الديناميكي العالمي الذي نعيش فيه اليوم هو واحد من أكثر الأشياء تعقيدًا التي نعرفها. ولذا فإن فهم الكيفية التي ظهرت بها الأشياء وماهية الظروف المثالية التي سمحت لها بالظهور يعد سبيلًا عظيمًا لفهم أنفسنا والعالم الذي نعيش فيه اليوم.

ظهرت أشياء أكثر تعقيدًا في نقاط تحوّل محورية، وسوف أشير إلى أهم هذه النقاط باسم «المحطّات». إن المحطّات تمنح شكلًا للسرد المعقّد الخاص بقصّة الأصل الحديثة، وهي توضح أهم نقاط التحوّل التي جرى فيها إعادة ترتيب الأشياء الموجودة بالفعل أو تغييرها من أجل إيجاد خصائص جديدة «بازغة»، سماتٍ لم يسبق وجودها من قبل قطّ. إن الكون المبكر لم يكن فيه أي نجوم أو كواكب أو كائنات حيّة. وبعد ذلك، خطوة بخطوة، بدأت أشياء جديدة بالكامل في الظهور؛ إذ

[١٠] (١٠) تجد بحثًا موسعًا لمبدأ جولديلوكس في كتاب Big Historyالتاريخ الكبير لفريد سباير (الطبعة العربية صادرة عن دار التنوير ٢٠١٥)

تكوّنت النجوم من ذرات الهيدروجين والهليوم، وتكوّنت عناصر كيميائية جديدة داخل النجوم المحتضرة، وتشكّلت الكواكب والأقمار من كتل الجليد والغبار باستخدام

هذه العناصر الكيميائية الجديدة، ثم تطوّرت أولى الخلايا الحيّة داخل البيئة الكيميائيّة الغنيّة للكواكب الصّخريّة. نحن البشر جزء أصيل من هذه القصّة، لأننا نتاج للتطوّر ولتنوّع الحياة على كوكب الأرض، لكن على مدار تاريخنا الوجيز والاستثنائي، أوجدنا صورًا جديدة بالكامل من التعقيد بحيث صرنا نهيمن، اليوم، على التغيير في عالمنا. إن ظهور شيء جديد وأكثر تعقيدًا مما سبقه، شيء له خصائص جديدة بازغة، دائمًا ما بدا إعجازيًّا مثل مولد الطفل، لأن الاتجاه العام للكون هو أن يكون أقل تعقيدًا وأكثر عشوائية. وفي النهاية فإن ذلك الميل نحو العشوائية المتزايدة (ما يسميه العلماء الإنتروبيا) سوف يربح السباق، وسيتحوّل الكون إلى فوضى عشوائية خالية من أي نمط أو بنية. غير أن هذا لن يحدث إلا في المستقبل البعيد، البعيد للغاية.

في الوقت الحالي، يبدو أننا نعيش داخل كونٍ يافعٍ قويٍّ عامرٍ بالإبداع. ولا يقل مولد كوننا -المحطة الأولى- في إعجازيته عن أي محطة أخرى في قصّة الأصل الحديثة الخاصّة بنا.

خط زمني

يقدّم هذا الخطّ الزمني بعض التواريخ الجوهرية الخاصّة بقصّة الأصل الحديثة، وذلك باستخدام تواريخ مطلقة تقريبية وتواريخ معاد حسابها، كما لو أنّ الكون قد ظهر للوجود منذ ١٣,٨ عامًا بدلًا من ١٣,٨ مليار عام مضت. وهذا النهج الأخير يجعل من السهل استيعاب الشكل الزمني للقصّة. فعلى أي حال، لم يصمّم الانتخاب الطبيعي عقولنا كي تستوعب مفهوم ملايين أو مليارات السنوات، لذا من المفترض أن يكون هذا التأريخ الزمني أيسر في الاستيعاب.

غالبية التواريخ الخاصّة بحوادث وقعت منذ أكثر من بضعة آلاف عام تحدّدت خلال الأعوام الخمسين الماضية باستخدام تكنولوجيات التأريخ الحديثة، وأهمها التأريخ الإشعاعي.

الحدث	التاريخ المطلق التقريبي	التاريخ مقسومًا على مليار
المحطّة الأولى: الانفجار العظيم: أصل الكون	منذ 8, 13 مليار عامٍ	منذ 13 عامًا و8 أشهرٍ.
المحطّة الثانية: النجوم الأولى تبدأ في السطوع	منذ 2, 13 مليار عامٍ	منذ 13 عامًا وشهرين
المحطّة الثالثة: تكوُّن العناصر الجديدة داخل النجوم الكبيرة المحتضرة	مستمرّ من المحطّة الثانية وحتى الحاضر	مستمرّ من المحطّة الثانية وحتى الحاضر
المحطّة الرابعة: تكوُّن شمسنا ومجموعتنا الشمسية	منذ 5, 4 مليارات عامٍ	منذ 4 أعوامٍ و6 أشهرٍ
المحطّة الخامسة: أولى صور الحياة على الأرض	منذ 8, 3 مليارات عامٍ	منذ 3 أعوامٍ و9 أشهرٍ
أولى الكائنات كبيرة الحجم على الأرض	منذ 600 مليون عامٍ	منذ 7 أشهرٍ

الحدث	التاريخ المطلق التقريبي	التاريخ مقسومًا على مليار
كويكب يتسبّب في فناء الديناصورات	منذ 65 مليون عامٍ	منذ 24 يومًا
انفصال سلالة أشباه البشر عن سلالة الشمبانزي	منذ 7 ملايين عامٍ	منذ 5, 2 يومين
الإنسان المنتصب	منذ مليوني عامٍ	منذ 17 ساعةً
المحطّة السادسة: أولى الأدلّة على نوعنا، الإنسان العاقل	منذ 200 ألف عامٍ	منذ 100 دقيقةٍ
المحطّة السابعة: نهاية العصر الجليدي، بداية عصر الهولوسين الجيولوجي الحالي، أولى الإشارات على الزراعة	منذ 10 آلاف عامٍ	منذ 5 دقائق
أولى الأدلة على المدن والدول، والحضارات الزراعية	منذ 5 آلاف عامٍ	منذ 5, 2 دقيقتين

ازدهار الإمبراطورية الرومانية وإمبراطورية الهان	منذ ألفي عامٍ	منذ دقيقة واحدة
بداية التواصل بين مناطق العالم	منذ 500 عامٍ	منذ 15 ثانيةً
المحطّة الثامنة: بداية ثورة الوقود الأحفوري	منذ 200 عامٍ	منذ 6 ثوانٍ
التسارع العظيم، هبوط الإنسان على القمر	منذ 50 عامًا	منذ 1,5 ثانيةٍ
المحطّة التاسعة (؟): نظام عالمي مستدام؟	بعد 100 عامٍ	بعد 3 ثوانٍ
موت الشمس	بعد 4,5 مليارات عامٍ	بعد 4 أعوامٍ و6 أشهرٍ
موت الكون، انتصار الإنتروبيا	بعد عددٍ هائلٍ من الأعوام	بعد مليارات ومليارات من الأعوام

الجزء الأول : الوجود

الفصل الأول : في البدء: المحطّة الأولى

كي تصنع فطيرة تفّاح من الصفر، عليك أولًا أن تخترع الكون.

كارل ساجان، Cosmos

وهكذا لا بد أنه بعد مولد الضوء البسيط وفي المكان الأوّل الدوّار، الجياد المسحورة تسير دافئة خارجة من الإسطبل الأخضر الصاهل إلى حقول المديح.

ديلان توماس، Fern Hill

بدء قصّة الأصل

من المستحيل أن ترفع نفسك عن الأرض عن طريق شد رباطي حذائك بقوة شديدة. وقد دخلت هذه الفكرة عالم الحاسب الآلي (التشغيل booting أو إعادة التشغيل rebooting) كي تصف الكيفية التي تستيقظ بها الحاسبات من سباتها ثم تحمِّل التعليمات التي تخبرها بما ستفعل بعد ذلك. إن رفع نفسك عن طريق شد رباطي حذائك مستحيلٌ حرفيًّا، لأنك إذا أردت أن ترفع شيئًا فعليك أن ترتكز على شيء آخر. وكما قال الفيلسوف الإغريقي أرخميدس: «أعطني رافعة ومكانًا أقف عليه، وسأحرّك الأرض». لكن ما الذي يمكن أن يبدأ عملية تكوُّن كون جديد؟ كيف ينطلق الكون من الصفر؟ أو في حقيقة الأمر، كيف تنطلق قصة الأصل التي تصف الكيفية التي ظهر بها كون جديد؟

إن بدء قصّة الأصل من الصّفر لا يقل في الصعوبة عن بدء الكون من الصّفر. ويتمثّل أحد الحلول في التخلّص من مشكلة البدايات عن طريق الافتراض بأن الكون كان موجودًا على الدوام. فلا حاجة للبدء من الصّفر. العديد من قصص الأصل سلكت هذا السبيل، كما فعل ذلك أيضًا العديد من علماء الفلك في العصر الحديث، ومن بينهم أولئك الذين دعموا نظرية الحالة الثابتة في منتصف القرن العشرين. وتقضي هذه الفكرة بأنه على النطاقات الكبيرة، ظلّ الكون على الدوام بنفس حاله الذي هو عليه اليوم. وثمة فكرة شبيهة بذلك، وإن كانت مختلفة في تفاصيل دقيقة، تقضي بأنه كانت توجد لحظة خلق، جابت فيها قوى أو كيانات عظيمة الكون وصنعت كل شيء، لكن منذ ذلك الحين لم يتغيّر الكثير. ربما رأى عجائز بحيرة مونجو الكون على هذه الصورة، ووصفوا عالمًا ظهر إلى النّور على صورته الحالية على يد أسلافهم. اعتبر نيوتن أن الله هو «العلّة الأولى» لكل شيء، وذهب إلى أنه كان حاضرًا في كل مكان. ولهذا السبب ظنّ نيوتن أن الكون

إجمالًا لم يتغيّر كثيرًا. وقد كتب أن الكون كان «مركز الإحساس بالذات لكيان لا مادي، حيّ، وذكي»(١١)[11]. وفي بدايات القرن العشرين كان آينشتاين واثقًا من أن الكون لا يتغير (على النطاق الكبير) لدرجة أنه أضاف ثابتًا خاصًّا إلى نظريته النسبية كي يجعلها تتنبأ بوجود كون ثابت.

هل فكرة الكون الأزلي أو الثابت مُرضية؟ ليس حقًّا، خاصّة لو تعيّن عليك أن تضيف إليها دور الخالق كي تبدأ العملية، على النحو التالي: «في البدء لم يكن ثمّة شيء، ثم خلق اللهُ ...». إن الثغرة المنطقية واضحة تمامًا، رغم أن عقولًا ذكية استغرقت وقتًا طويلًا كي تراها بوضوح(١٢)[12].

إن ترانيم الفيدا الهندوسية القديمة لا تفصح عن موقفها حيال هذه النقطة. «لم يكن ثمة وجود أو عدم وقتها، ولم يكن ثمة عالم من المكان ولا سماء وراءه»(١٣)[13]. ربما نشأ كلّ شيء من صراع بدائي بين الوجود والعدم، عالم مبهم لم يكن شيئًا، لكن كان بإمكانه أن يصبح شيئًا. أو ربما، كما يعبِّر سكان أستراليا الأصليين الحاليين عن الأمر، لا شيء يكون عَدمًا بالكامل(١٤)[14]. إنها فكرة صعبة، وقد ينبذها البعض بوصفها فكرة مبهمة أو تخيّلية ما لم يكن لها نظير واضح في الفكرة الحديثة، المُتضمّنة في فيزياء الكَمّ، التي تقضي بأن الفضاء ليس خاليًا إطلاقًا، وإنما هو مليء بالاحتمالات.

هل ثمة نوع من محيط الطاقة أو الاحتمالات تظهر فيه أشكال بعينها مثل الموجات أو التسونامي؟ هذا مفهوم شائع إلى درجة أن من المغري التفكير بأن أفكارنا عن البدايات المطلقة تأتي من خبراتنا الخاصّة. كلّ صباح، نشعر جميعًا بالكيفية التي يبدو بها أن ثمة عالمًا واعيًا، عامرًا بالأشكال والإحساسات والبِنى، يبزغ من عالم فوضوي غير واعٍ. وقد كتب جوزيف كامبل: «مثلما يرتكز وعي الفرد على بحر من الليل يغوص فيه عند النوم ويخرج منه بغموض عند الاستيقاظ، فإنه في

---

[11] (11) Richard S. Westfall, The Life of Isaac Newton (Cambridge University press 1993)
لاحقا غيّر نيوتن رأيه حول فكرة الإله بأنه (مركز الحواس)، لكنه احتفظ بالمبدأ القائل بأن الإله (موجود في كل مكان) بالمعنى الحرفي للعبارة.

[12] (12 Bertrand Russell, "Why I Am Not a Christian" lecture given at Battersea Town Hall, London, March 1927.

[13] (13 Cited in Christian, Maps of Time, 17.

[14] (14 Deborah Bird Rose, Nourishing Terrains: Australian Aboriginal Views of Landscape and Wilderness (Canberra: Australian Heritage Commission, 1996), 23.

الخرافات التخيلية ينبثق الكون من، ويرتكز على حالة أبدية يعود إليها ويذوب فيها مجددًا»(١٥)[15].

لكن ربما تكون هذه الفكرة مغرقة في الميتافيزيقيا. وربما تكون الصعوبة منطقية. يذهب ستيفن هوكينج إلى أن مسألة البداية معبَّر عنها بصورة سيئة وحسب. فإذا كانت هندسة الزمكان كروية، مثل سطح الأرض لكن ذات أبعاد أكثر، حينها فإن التساؤل عمّا كان يوجد قبل الكون يشبه البحث عن نقطة بداية على سطح كرة تنس. فهذه هي الكيفية التي يعمل بها الكون. فلا توجد حافة أو بداية للزمن، تمامًا مثلما لا توجد حافة لسطح الأرض(١٦)[16].

واليوم، ينجذب بعض علماء الكونيات إلى مجموعة أخرى من المفاهيم التي تأخذنا مجدّدًا إلى فكرة الكون عديم البداية والنهاية. فربما يكون كوننا جزءًا من كون متعدّد لا نهائي تواصل فيه الأكوان البزوغ من انفجارات عظمى. قد يكون هذا صحيحًا، لكن في الوقت الحالي ليس لدينا دليل ملموس على وجود أي شيء قبل الانفجار العظيم. فالأمر يبدو كما لو أن عملية خلق كوننا كانت من العنف الشديد بحيث انمحت أي معلومات متعلّقة عن المصدر الذي جاء منه. وإذا كان ثمة وجود لقرى كونية أخرى، فلا نستطيع رؤيتها بعد.

بصراحة، ليس لدينا اليوم إجابات أفضل عن سؤال البدايات المطلقة من تلك التي امتلكها أيّ مجتمع بشري سابق. فلا يزال بدء الكون من الصّفر يمثّل تناقضًا منطقيًّا وميتافيزيقيًّا. فنحن لا ندري ماهية الظروف المثالية التي سمحت للكون بالظهور، ولا نزال عاجِزِيْن عن تفسيره بأفضل مما فعل الروائي تيري براتشيت حين كتب: «يمكن تلخيص حالة المعرفة الحالية كما يلي: في البدء، لم يكن ثمة شيء، ثم انفجر»(١٧)[17].

المحطّة الأولى

البداية الكمّية للكون من الصفر

---

[15] 15(Joseph Campbell, The Hero with a Thousand Faces, 2nd ed. (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1968), 261.

[16] 16(Stephen Hawking, A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes (London, Bantam, 1988), 151..

[17] (١٧) أشكر إليز بوهان لاقتباساته من Terry Pratchett (Lords and Ladies) London: Victor Gollancz, 1992 Elise Bohan.

نقطة بداية السرد الذي يحظى اليوم بالقبول الأوسع بشأن الأصول المطلقة للكون هي فكرة الانفجار العظيم. وهذه الفكرة تعد أحد النماذج الإرشادية الرئيسية في العلم الحديث، شأنها شأن الانتخاب الطبيعي في علم الأحياء أو حركة الصفائح التكتونية في الجيولوجيا(١٨)[١٨].

ظهرت الأجزاء الرئيسية لقصّة الانفجار العظيم في أوائل ستينيات القرن العشرين. ففي ذلك الوقت رُصد للمرة الأولى إشعاع الخلفية الميكروني الكوني؛ تلك الطّاقة المتخلّفة من الانفجار العظيم والموجودة في كل مكان في كوننا اليوم. ورغم أن علماء الكونيات لا يزالون يجدون صعوبة في فهم اللحظة التي ظهر فيها كوننا، فبإمكانهم أن يخبرونا بقصّة مرحة بدأت بعد نحو (سآخذ نفسًا عميقًا؛ إذ آمل أن أعبّر عن الرقم بدقة) جزء من المليار من جزء من المليار من جزء من المليار من جزء من المليار من جزء من المليار من الثانية بعد ظهور الكون (نحو - ١٠(٤٣) ثانية بعد نقطة الصّفر).

والقصّة الأساسية تسير على النحو التالي: بدأ كوننا كنقطة أصغر من الذرّة. صغيرة إلى أي درجة؟ لقد تطوّرت أدمغة نوعنا كي تتعامل مع الأشياء على نطاقات الحجم البشرية، لذا فهي تجد صعوبة في إدراك الأشياء الصغيرة إلى هذه الدرجة، لكن قد يفيدك معرفة أن بإمكانك حشد مليون ذرة داخل النقطة التي تنتهي بها هذه العبارة(١٩)[١٩]. وفي لحظة الانفجار العظيم، كان الكون كلّه أصغر من ذرة. وفي داخله كانت توجد كل الطاقة والمادة الموجودة في كوننا اليوم. كلّها. هذه فكرة تثير الرهبة، وربما بدت في البداية محض جنون. غير أن كل الأدلّة التي نملكها في الوقت الحاضر تخبرنا بأن هذا الجسم الغريب الضئيل الشديد السخونة كان يوجد بالفعل منذ ١٣,٨٢ مليار عام مضت.

نحن لا نفهم بعد كيف ولماذا ظهر هذا الشيء. غير أن فيزياء الكم ومعَجّلات الجُسَيْمات -التي تسرِّع الجُسَيْمات دون الذرية إلى سرعات عالية بواسطة مجالات كهربية أو كهرومغناطيسية- تبيّن لنا أن من الممكن
أن يظهر شيء في الفراغ من العدم، وإن كان فهم ما يعنيه هذا يتطلّب فهمًا معقّدًا للعدم. ففي فيزياء الكمّ الحديثة، من المستحيل أن نحدّد بدقة موضع وحركة

---

[١٨] 18) On paradigms, the classic text is Thomas Kuhn, The Structure of Scientific Revolutions, 2nd ed. (Chicago: University of Chicago Press, 1970).

[١٩] 19) Peter Atkins, Chemistry: A Very Short Introduction (Oxford: Oxford University Press, 2015), loc. 722, Kindle.

الجُسَيْمات دون الذرية. وهذا يعني أن من المستحيل أن تقول بثقة إن ثمّة منطقة معيّنة من الفضاء خاوية تمامًا، وذلك يعني أن الفراغ عامر باحتمالية ظهور شيء ما. ومثل فكرة أنه «لم يكن ثمة وجود أو عدم» التي ذهبت إليها الفيدا الهندوسية، يبدو أن هذا التوتّر هو ما تسبب في إطلاق كوننا(٢٠)[20].

واليوم، نحن نشير إلى اللحظة الأولى في عمر الكون باسم «الانفجار العظيم»، وكأنما أخذ الكون يصيح، مثل الطفل الوليد، في لحظة مولده. ظهر هذا المصطلح الطريف إلى النور في عام ١٩٤٩ على يد عالم الفلك الإنجليزي فريد هويل، الذي ظن أن الفكرة سخيفة. ففي أوائل ثلاثينيات القرن العشرين، حين طُرح مفهوم الانفجار العظيم للنقاش للمرة الأولى، أطلق عالم الفلك البلجيكي (والقس الكاثوليكي) جورج لومتر على الكون الوليد اسم «البيضة الكونية» أو «الذرّة البدائية». كان واضحًا للعلماء القليلين الذين أخذوا هذه الفكرة على محمل الجد أنه في ضوء وجود كل هذه الطاقة المختزنة داخل هذه الذرة البدائية، فمن الحتمي أنها كانت تتّسم بالحرارة الشديدة وأنها تمدّدت بشكل جنوني كي تتخلّص من الضغط. يتواصل هذا التمدّد إلى اليوم، وكأن ثمّة زنبرك عظيم ظل يتحرّر من التفافه لأكثر من ثلاثة عشر مليار عام.

حدث الكثير في اللحظات والدقائق الأولى التي تلت الانفجار العظيم، وأهم ما حدث هو ظهور أولى البنى والأنماط المثيرة للاهتمام، وظهور أوّل الكيانات والطاقات التي امتلكت أشكالًا وخصائص غير عشوائية ومميزة. إن ظهور شيء له سمات جديدة مميزة هو دائمًا أمر سحري. وسنرى هذا يحدث مرارًا وتكرارًا في قصة الأصل الحديثة، رغم أن ما يبدو سحريًّا للوهلة الأولى قد يبدو أقل سحرًا ما إن نفهم أن الشيء الجديد وخصائصه الجديدة لم يأتيا من العدم. فالأشياء الجديدة ذات الخصائص الجديدة تبزغ من الأشياء الموجودة بالفعل ومن القوى التي تترتّب بصور جديدة. فالترتيبات الجديدة هي ما تجلب الخصائص الجديدة، تمامًا مثلما يمكن لترتيب القرميد بطريقة مختلفة أن يولد نمطًا جديدًا في الفسيفساء. ولنأخذ مثالًا من الكيمياء. عادة ما نفكّر في الهيدروجين والأوكسيجين باعتبارهما غازَيْن عديمي اللون. لكن إذا اتّحدت ذرتا هيدروجين بذرة أوكسيجين بطريقة معيّنة، سنحصل على جُزَيْء الماء. وإذا وضعنا الكثير من هذه الجُزَيْئات معًا، سنحصل

---

[20] (20) Lawrence Krauss, A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather than Nothing (New York: Simon and Schuster, 2012).

على سمة جديدة هي «المائية». فعندما نرى شكلًا جديدًا أو بنية ذات خصائص جديدة، فنحن في الحقيقة نرى ترتيبات جديدة لما كان موجودًا بالفعل. والابتكار هو البزوغ. وإذا فكرنا في البزوغ باعتباره إحدى شخصيات قصتنا، فستكون على الأرجح شخصيةً لعوبًا، غامضة، لا يمكن التنبؤ بسلوكها، ومن المرجّح أن تظهر من الظلام على نحو غير متوقّع وتأخذ الحبكة في اتجاهات مفاجئة.

بزغت أولى البنى والأنماط في الكون بهذه الصورة تمامًا، إذ اصطفت الأشياء والقوى التي ظهرت نتيجة الانفجار العظيم في ترتيبات جديدة.

في أول لحظة نمتلك بشأنها بعض الأدلة، بعد جزء بسيط من الثانية عقب الانفجار العظيم، تألّف الكون من طاقة صافية عشوائية غير متمايزة وعديمة الشكل. يمكننا التفكير في الطاقة بوصفها «قدرة شيء على الحدوث»، أي القدرة على فعل الأشياء أو تغيير الأشياء. كانت الطاقات الحبيسة داخل الذرّة البدائية مهولة، تبلغ تريليونات عديدة فوق الصفر المطلق. وكانت هناك فترة وجيزة من التمدّد الفائق السرعة تعرف باسم فترة التضخّم. وقد كان التمدّد سريعًا للغاية إلى درجة أن السواد الأعظم من الكون انطلق بعيدًا، إلى ما وراء أي شيء يمكن أن نراه على الإطلاق. يعني هذا أن ما نراه اليوم ما هو على الأرجح إلا جزء بسيط للغاية من الكون بأكمله.

بعد جزء صغير من الثانية، تباطأ معدل التمدّد. هدأت طاقات الانفجار العظيم العنيفة المضطربة، وبينما واصل الكون التمدّد انتشرت الطاقات وترقّقت. انخفضت درجات الحرارة، وواصلت الانخفاض بحيث صارت حرارة غالبية أجزاء الكون اليوم ٢,٧٦ درجتين مئويتين فوق الصفر المطلق وحسب. (الصفر المطلق هو درجة الحرارة التي لا يهتز فيها أي شيء على الإطلاق.) نحن لا نشعر بهذه البرودة، وكذلك لا يشعر بها أي كائن على سطح الأرض، لأننا ننعم بدفء الشمس.

في درجات الحرارة المتطرّفة للانفجار العظيم، كان كل شيء تقريبًا ممكنًا. لكن مع انخفاض درجات الحرارة، أخذت الاحتمالات تقلّ. بدأت كيانات منفصلة في الظهور كالأشباح داخل الضباب الفوضوي للكون الآخذ في البرودة، كيانات لم يكن بوسعها أن تظل باقية داخل الأتون العنيف للانفجار العظيم ذاته. يطلق العلماء على هذه التغييرات في المادة والبنية مصطلح التغيّر الطّوري. ونحن نرى التغيرات الطّورية في حياتنا العادية حين يفقد البخار طاقته ويتحوّل إلى ماء (الذي

تتحرّك جُزَيْئاته بدرجة أقل كثيرًا من جُزَيْئات البخار) وحين يتحوّل الماء إلى جليد (الذي له قدر قليل للغاية من الطّاقة بحيث تكتفي جُزَيْئاته بالاهتزاز البسيط في أماكنها). ولا يتواجد الماء والجليد إلا في نطاق ضيّق من درجات الحرارة المنخفضة للغاية.

وفي غضون جزء من المليار من جزء من المليار من جزء من المليار من جزء من المليار من الثانية عقب الانفجار العظيم، مرّت الطاقة نفسها بتغير طَوْري؛ إذ انقسمت إلى أربعة أنواع مختلفة. واليوم، نعرف هذه الأنواع باسم الجاذبية، والقوة الكهرومغناطيسية، والقوّة النووية القوية، والقوة النووية الضعيفة. ونحن بحاجة إلى التعرّف على شخصياتها المختلفة نظرًا للدور الذي لعبته في تشكيل الكون. الجاذبية ضعيفة، لكنها تمتدّ عبر مسافات شاسعة ودائمًا ما تجذب الأشياء بعضها إلى بعض، ومن ثم تتراكم قوتها. وهي تنحو إلى جعل الكون أكثر تكتلًا. أما القوة الكهرومغناطيسية فتأتي بشكل موجب وآخر سالب، لذا فإنها كثيرًا ما يلغي بعضها بعضًا. ورغم أن الجاذبية ضعيفة، فإنها تشكّل الكون على نطاق كبير. أما القوة الكهرومغناطيسية فتهيمن على المستوى الكيميائي والبيولوجي، ومن ثم فإنها هي ما تبقي أجسادنا متماسكة. النوعان الثالث والرابع من القوى لهما اسمان غير مميزين، هما القوّة النووية القوية والقوّة النووية الضعيفة. وهما تعملان على نطاقات مسافة ضئيلة، ومن ثم فإنهما مهمتان على المستوى دون الذري. نحن البشر لا نشعر بهما مباشرة، غير أنهما تشكِّلان كل جانب من عالمنا لأنهما تحدّدان ما يحدث داخل الذرات.

ربما توجد أنواع أخرى من الطاقة. ففي تسعينيات القرن العشرين، أظهرت مقاييس جديدة لمعدل تمدّد الكون أن ذلك المعدل يزداد. وقد استعار العديد من الفيزيائيين والفلكيين تلك الفكرة التي كان آينشتاين أول من فكر فيها، ويذهبون الآن إلى أنه ربما توجد صورة من الجاذبية المضادة في كل أرجاء الفضاء، وأن قوّتها تزداد مع تمدد الكون. واليوم، ربما تعادل كتلة هذه الطاقة نحو ٧٠ بالمائة من الكتلة الإجمالية للكون. لكن حتى لو كانت هذه الطاقة في سبيلها إلى الهيمنة على كوننا، فإننا لا نفهم بعد ماهية هذه الطاقة، أو كيفية عملها، ولهذا يطلق عليها الفيزيائيون اسم الطاقة المظلمة. هذا المصطلح مؤقت. وعلينا مراقبة هذا النطاق لأن فهم الطاقة المظلمة يعد أحد التحدّيات العظيمة التي تواجه العلم الحديث.

ظهرت المادّة خلال الثانية الأولى التي أعقبت الانفجار العظيم. والمادة هي الشيء الذي تدفعه الطاقة في جميع الأرجاء. حتى قرن مضى، افترض العلماء والفلاسفة أن المادّة والطاقة كانا شيئين منفصلين، لكننا نعلم الآن أن المادة في حقيقتها عبارة عن صورة شديدة التركيز من الطاقة. وقد أوضح آينشتاين الشاب هذا في ورقة بحثية شهيرة في العام ١٩٠٥. وتلك المعادلة -التي تفيد بأن الطاقة (E) تساوي الكتلة (m) مضروبة في مربع سرعة الضوء (c)، أو E = mc(٢)- تخبرنابمقدار الطّاقة المنضغط داخل أي مقدار من المادّة. ومن أجل معرفة مقدار الطاقة المختزن داخل قطعة من المادة، ليس عليك أن تضرب هذا المقدار في سرعة الضوء (التي تساوي أكثر من مليار كيلومتر في الساعة) وإنما في سرعة الضوء مضروبة في نفسها. هذا رقم هائل، وهكذا إذا حرّرت مقدارًا صغيرًا من المادّة، ستحصل على قدر هائل من الطاقة، وهذا ما يحدث حين تنفجر قنبلة نووية. وفي الكون المبكر، حدثت عملية معاكسة؛ إذ انضغطت كميات هائلة من الطاقة في مقادير ضئيلة من المادة، مثل ذرات الغبار داخل ضباب شاسع من الطاقة. ومن المثير للدهشة أننا استطعنا إعادة إنشاء هذه الطّاقات بصورة وجيزة، في مصادم الهدرونات الكبير خارج جنيف. ونعم، تبدأ الجُسَيْمات في الظهور من محيط الطّاقة الفائر.

وما زلنا داخل الثانية الأولى...

البِنى الأولى

داخل ضباب الطاقة الفوضوي الذي ساد عقب الانفجار العظيم مباشرة، بدأت أشكال وبِنى متمايزة في
الظهور. ورغم أن ضباب الطاقة موجود على الدوام، فإن البنى التي ظهرت منه سوف تمنح قصة الأصل الخاصة بنا شكلًا وحبكة. ستدوم بعض البنى أو الأنماط لمليارات الأعوام، بينما سيستمر البعض الآخر لأجزاء من الثانية، لكن لن يُحفَظ أيٌّ منها. فجميعها زائلة، مثل الموجات على سطح المحيط. يخبرنا القانون الأول للديناميكا الحرارية بأن محيط الطّاقة موجود على الدوام، فهو محفوظ. أما القانون الثاني للديناميكا الحرارية فيخبرنا بأن كل الأشكال التي تظهر سوف تتحلّل في النهاية داخل محيط الطّاقة. فالأشكال، مثل حركات الرقصة، لا تُحفَظ.

ظهر بعض البنى والأشكال المميزة بعد ثانية واحدة من الانفجار العظيم. لماذا؟ لماذا لا يكون الكون محض تدفّق عشوائي للطّاقة؟ هذا سؤال جوهري.

لو كنا نبحث عن حلٍّ سهل يقينا عبء البحث والتفكير (كما افترضت قصص أصل كثيرة)، لقلنا إن الإله فضّل وجود البنية على الفوضى. لكن لأننا لا نرى دليلًا مباشرًا على تدخل الآلهة، يتعيّن على قصة الأصل الحديثة أن تجد طرقًا لتفسير ظهور البنى والأشكال. وهذه ليست مهمة يسيرة، لأن القانون الثاني للديناميكا الحرارية يخبرنا بأنه عاجلًا أو آجلًا ستنهار كل البنى في نهاية المطاف. وكما كتب الفيزيائي النمساوي إرفين شرودنجر: «نحن ندرك الآن هذا القانون الجوهري للفيزياء الذي يقضي بأن الميل الطبيعي للأشياء هو الاقتراب من حالة الفوضى (نفس الميل الذي تظهره الكتب داخل المكتبة أو أكوام الورق والمخطوطات على طاولة الكتابة) ما لم نعمد إلى تحاشيها»(٢١)[٢١].

لو كان ثمّة وجود لشخصية شريرة في قصة الأصل الحديثة، فبالتأكيد هي الإنتروبيا، تلك النزعة الكونية المتمثّلة في تفكك البنى وتحوّلها إلى العشوائية. والإنتروبيا هي الخادم الأمين للقانون الثاني للديناميكا الحرارية. لذا، إذا فكّرنا في الإنتروبيا بوصفها إحدى شخصيات قصتنا، علينا أن نتصوّرها كشخصية فاسقة، متربّصة، لا تأبه بآلام الآخرين ومعاناتهم، وفي النهاية سوف تنال منا جميعًا. إن الإنتروبيا توجد في ختام كل قصص الأصل. وسوف تقضي على كل البنى والأشكال، وكل النجوم والمجَرّات والخلايا الحيّة. وقد وصف جوزيف كامبل دور الإنتروبيا بكلمات بليغة في كتابه عن الميثولوجيا قائلًا: «إن العالم، كما نعرفه ... له نهاية واحدة وحسب: الموت، التحلّل، تقطيع الأوصال، وصلب قلبنا مع انقضاء الأشكال التي أحببناها»(٢٢)[٢٢].

يفسّر العلم الحديث دور الإنتروبيا باللغة الباردة الجافة للإحصاءات. فمن بين الطرق العديدة التي يمكن أن تترتّب بها الأشياء، تكون الغالبية العظمى منها عديمة البنية وعشوائية وغير منظمة. فأغلب التغيير يشبه أخذ مجموعة من بطاقات اللعب يبلغ عددها (٨٠)١٠ بطاقة (أي ١٠ متبوعة بـ ٨٠ صفرًا، أو ما يعادل تقريبًا عدد الذرات داخل الكون)، ثم خلطها مرارًا وتكرارًا على أمل العثور على البطاقات التي تحمل الرقم ١ مصطفة كلّها وراء بعضها. هذا نمط شديد الندرة للغاية،إ إلى

---

[٢١] 21) Erwin Schrodinger, What Is Life? And Mind and Matter (Cambridge :
Cambridge University Press, 1967), 73.

[٢٢] 22) Campbell, The Hero with a Thousand Faces, 25-26.

درجة أنه من غير المرجح رؤيته حتى لو واصلنا خلط البطاقات لعدد من المرّات يزيد أضعافًا كثيرة عن عمر الكون. ففي ذ الأوقات لن تجد أي بنية، أو ستجد بنية بسيطة للغاية. فإذا ألقيت قنبلة على موقع إنشاء مليء بقوالب الطوب والملاط والأسلاك والطلاء، ما هي احتمالات أنه عندما ينقشع الغبار ستجد مبنًى سكنيًّا فيه كل التوصيلات والزخارف وجاهز لاستقبال المشترين؟ إن عالم السحر يمكنه تجاهل الإنتروبيا، لكن عالمنا لا يمكنه ذلك. لهذا السبب فإن السواد الأعظم من الكون، خاصّة الفضاء الشاسع الخالي بين المجَرّات، يفتقر إلى الشكل والبنية.

إن الإنتروبيا قوية للغاية، إلى درجة أن ليس من السهل فهم الكيفية التي ظهرت بها أي بنية في المقام الأول. غير أننا نعرف أن البنى ظهرت بالفعل، ويبدو أنها ظهرت بإذن من الإنتروبيا. الأمر يبدو وكأنه في مقابل السماح للأشياء بالترابط من أجل تكوين بِنى أكثر تعقيدًا، تطلبت الإنتروبيا أنواعًا عديدة من ضرائب التعقيد، على غرار ما فعله الإمبراطور الروسي بطرس الأكبر، الذي شكّل إدارة حكومية خاصّة كي تبتكر ضرائب جديدة. تحب الإنتروبيا هذه الصفقة لأن الضرائب التي تدفعها كل الكيانات المعقّدة ستساعد الإنتروبيا في مهمّتها المقيتة المتمثّلة في تحويل الكون كلّه إلى فوضى. وإنَّ فعل دفع ضرائب الإنتروبيا نفسه يخلق المزيد من الفوضى والمزيد من الاستنزاف، تمامًا مثلما تولّد إدارة أي مدينة حديثة كميات ضخمة من المخلّفات والحرارة. وكلنا ندفع ضرائب الإنتروبيا كل ثانية من حياتنا، وسوف نتوقف عن الدفع في اليوم الذي نموت فيه.

كيف إذًا ظهرت أولى البنى؟ لا يملك العلم بعد إجابات كاملة لهذا السؤال، رغم وجود عدد من الأفكار الواعدة.

بالإضافة إلى الطاقة والمادة، خرجَ بعض القواعد الحاكمة من رحم الانفجار العظيم، ولم يبدأ العلماء في فهم مدى جوهرية هذه القواعد حتى الثورة العلمية في القرن السابع عشر. واليوم، نصف هذه القواعد بأنها قوانين الفيزياء الأساسية، وهي تفسّر لماذا لم تكن الطّاقات المحمومة والفوضوية الموجودة داخل الذرة البدائية عديمة الاتجاه بالكامل؛ فقد وجّهت قوانين الفيزياء التغيّر نحو مسارات معيّنة ومنعت عددًا لا نهائيًّا تقريبًا من الاحتمالات الأخرى. لقد حجبت قوانين الفيزياء تلك الحالات الكونية التي لم تكن متوافقة معها، وبهذا ففي أي لحظة بعينها كان الكون موجودًا فقط في الحالات العديدة التي كانت متوافقة مع القواعد الحاكمة

للكون. وهذه الحالات الجديدة، بالتبعية، ولَّدَت المزيد من القواعد التي وجّهت التغيير نحو مسارات جديدة.

وقد ضمن هذا الحَجب المتواصل للحالات المستحيلة وجود قدر أدنى من البنية. نحن لا نعلم لماذا ظهرت هذه القواعد أو لماذا أخذت الشكل الذي هي عليه، ولا نعلم حتى ما إذا كانت هذه القواعد حتمية أم لا. قد توجد أكوان أخرى بها قواعد مختلفة اختلافًا بسيطًا؛ فربما في بعض الأكوان الأخرى تكون الجاذبية أقوى، أو الكهرومغناطيسية أضعف. وإذا كان الحال كذلك، فإن قاطني هذه الأكوان (إن كان لهم وجود) سيحكون قصص أصل مختلفة. ربما استمرّت بعد الأكوان لجزء من المليون من الثانية، بينما استمر البعض الآخر لفترات أطول كثيرًا من كوننا. وربما ولَّد بعض هذه الأكوان العديد من أشكال الحياة العجيبة، بينما كان البعض الآخر محض مقبرة بيولوجية. وإذا كان كوننا يوجد حقًّا داخل كون متعدد، فبإمكاننا أن نتخيل حدوث عملية إلقاء نرد ضخمة حين نشأ كوننا، تبعها إعلان يقول: «حسنًا، ستكون هناك جاذبية في هذا الكون، وقوّة كهرومغناطيسية كذلك، وستكون القوة الكهرومغناطيسية أقوى بـ(٣٦)١٠ مرّة من قوّة الجاذبية». (هذه بالفعل هي نسبة القوّة بين الجاذبية والكهرومغناطيسية، على الأقل في كوننا). وقد ضمن وجود هذه القواعد أن كوننا لن يكون فوضويًّا بالكامل مطلقًا. كان من المضمون أن يظهر شيء مثير للاهتمام في مكان ما.

بمجرّد أن ظهرت الطّاقة في أشكال منفصلة ومتمايزة، ظهرت البنى والأنماط. فعندما تكتّلت الطاقة مُشَكِّلةً أولى جُسَيْمات المادة، كان لهذه الجُسَيْمات قواعد هي الأخرى. ظهرت النيوترونات والبروتونات والإلكترونات، المكوِّنات الأساسية للذرّات، بعد ثوانٍ من الانفجار العظيم، تمامًا مثلما ظهرت الجُسَيْمات المضادة للبروتونات والإلكترونات (أي البروتونات سالبة الشحنة والإلكترونات موجبة الشحنة)، وشكّلت ما يسميه الفيزيائيون المادة والمادة المضادة. وبينما انخفضت حرارة الكون إلى ما دون الدرجة التي يمكن فيها تكوين المادّة والمادّة المضادّة بسهولة، وقع صدام عنيف على مستوى الكون كلّه أفنت فيه المادة والمادة المضادة بعضها بعضًا، مطلقتين كميات هائلة من الطاقة. ولحسن حظنا فإن نسبة فائضة قليلة من المادّة (ربما جُسَيْمٌ واحد في المليار) نجت من هذه المجزرة. وظلّت جُسَيْمات المادّة المتبقية في مواضعها لأن درجة الحرارة صارت أدنى من الدرجة

التي يمكننها تحويل هذه الجُسَيْمات إلى طاقة. وهذه المادة المتبقية هي ما يشكّل كوننا الحالي.

مع انخفاض درجات الحرارة، تنوّعت أشكال المادة. كانت الإلكترونات والنيوترينوات محكومة من جانب القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة. أما البروتونات والنيوترونات التي تشكّل نوى الذرات فكانت تتألف من مجموعات ثلاثية من جُسَيْمات عجيبة تعرف بالكواركات، والتي تضمّها معًا القوة النووية القوية. إلكترونات ونيوترونات وكواركات وبروتونات ونيوترينوات... في غضون بضع ثوانٍ عقب الانفجار العظيم كان كوننا الآخذ في البرودة بسرعة قد ثبّت بعض البنى المتمايزة، كل منها له خصائصه البازغة. لكن بينما هدأت حدّة إعصار الانفجار العظيم، فإن الطاقات الهائلة المطلوبة من أجل تحرير هذه البنى البدائية اختفت، ولهذا السبب تبدو الأشكال المختلفة من الطاقة والجُسَيْمات، كالبروتونات والإلكترونات، خالدة في نظرنا.

وبهذه الصورة اتّحدت الصدفة والحتمية معًا لإنتاج أولى البنى البسيطة. فقد حجبت قوانين الفيزياء العديد من الاحتمالات؛ وهذا هو الجزء الخاص بالحتمية، وبعد ذلك أعادت الصدفة ترتيب الأشياء عشوائيًّا من الاحتمالات المتبقّية. هذه هي الكيفيّة التي يعمل بها الأمر كلّه. وعن هذا قال اختصاصيّ الفيزياء النانوية بيتر هوفمان: «خفّفت قوانين الفيزياء من حدّة الصدفة، وهو ما يضفي لمسة من الحتميّة، وصارت الصدفة القوّة الخالقة، المحرّكة والمشكّلة لكوننا. وكل الجمال الذي نراه من حولنا، من المجَرّات إلى زهور عبّاد الشمس، ما هو إلا نتيجة لهذا التعاون الإبداعي بين الفوضى والحتميّة»(٢٣)[٢٣].

الذرّات الأولى

في غضون دقائق قليلة عقب الانفجار العظيم، وبينما اتّحدت البروتونات والنيوترونات، ظهر المزيد من البنى. إن البروتون الوحيد يشكل نواة ذرة الهيدروجين، بينما يشكّل زوج من البروتونات (وزوج من النيوترونات) نواة ذرة الهليوم، وبهذا بدأ الكون في بناء أولى الذرّات. غير أنه يلزم قدر كبير من الطّاقة كي تتّحد البروتونات معًا، لأن شحناتها الموجبة تتنافر، وكانت درجة الحرارة

---

(٢٣) 23 Peter M. Hoffmann, Life›s Ratchet: How Molecular Machines Extract Order from Chaos (New York: Basic Books, 2012), loc. 179, Kindle.

آخذة في الانخفاض بسرعة بعد الانفجار العظيم، لذا كان من المستحيل دمج المزيد من البروتونات وتكوين نوى ذرّات أكبر حجمًا. يفسّر هذا ملمحًا أساسيًّا لكوننا: أن نحو ثلاثة أرباع الذرات كلّها ذرّات هيدروجين، وغالبية الجزء المتبقّي هي ذرّات هليوم.

قدر أكبر من المادّة يتألف من المادّة المظلمة، وهي مادّة لا نفهم ماهيتها بعد، رغم أننا نعرف أنها موجودة لأن قوّة الجذب الخاصّة بها تحدّد بنية المجَرّات وتوزيعها. وهكذا، بعد الانفجار العظيم بدقائق قليلة، تألّف كوننا من سحب شاسعة من المادّة المظلمة داخلها بلازما متّقدة من البروتونات والإلكترونات، تتدفّق عبرها فوتونات الضوء. واليوم، لا توجد البلازما إلا في قلوب النجوم.

الآن علينا أن نتوقّف وننتظر ٣٨٠ ألف عام (نحو ضعف المدة التي وُجد فيها نوعنا على الأرض). خلال ذلك الوقت، استمرّ الكون في البرودة. وحين انخفضت درجات الحرارة إلى ما دون عشرة آلاف درجة مئوية، حدث تغيّر طَوْري آخر، مثل البخار الذي يتحوّل إلى ماء. ومن أجل تفسير هذا التغيّر الطّوري، نحتاج إلى فهم أن الحرارة هي في الحقيقة مقياس لحركة الذرّات. فجميع جُسَيْمات المادة تهتز بفعل الطاقة باستمرار، كالأطفال العصبيين، ودرجة الحرارة هي مقياس لمتوسّط درجة الاهتزاز. إن الاهتزاز حقيقي، وفي ورقة بحثية شهيرة نُشرت العام ١٩٠٥، بيَّن آينشتاين أن اهتزاز الذرّات يسبب الدوران العشوائي لجُسَيْمات الغبار في الهواء. ومع انخفاض درجة الحرارة، تهتزّ الجُسَيْمات بدرجة أقل، إلى أن تترابط معًا في النهاية. وبينما واصل الكون فقدان حرارته، جذبت القوّة الكهرومغناطيسية الإلكترونات سالبة الشحنة نحو البروتونات موجبة الشحنة إلى أن هدأت الإلكترونات بما يكفي كي تستقر في مدارات حول البروتونات. ويا للعجب! ها قد صارت لدينا أولى الذرّات. المكوِّنات الأساسية لكل المادّة من حولنا.

في المعتاد تكون الذرّات المنفصلة متعادلة الشحنة الكهربية، لأن الشحنات الموجبة والسالبة لبروتوناتها وإلكتروناتها يلغي بعضها بعضًا. لذا حين تكوّنت أولى ذرّات الهيدروجين والهليوم، صارت غالبية المادّة الموجودة في الكون متعادلة الشحنة فجأة، وتبخّرت البلازما المتّقدة. حينئذٍ، صار بمقدور الفوتونات، التي تحمل القوة الكهرومغناطيسية، أن تتدفّق في حريّة عبر شبّورة الذرّات متعادلة الشحنة والمادة المظلمة. واليوم، يستطيع علماء الفلك رصد نتائج هذا التغير

الطَوري، لأن الفوتونات التي أفلتت من البلازما ولَّدت طنينًا رقيقًا من الطاقة في الخلفية (إشعاع الخلفية الميكروني الكوني) لا يزال يتخلّل الكون بأكمله.

لقد عبرت قصّة الأصل الخاصّة بنا المحطة الأولى. فلدينا كون، وهذا الكون يحوي بالفعل بعض البنى ذات الخصائص البازغة المتمايزة، وتوجد في هذا الكون أشكال متمايزة من الطاقة والمادة، كل منها له شخصيته. كما يضم الكون ذرّات، وله قواعده الحاكمة الخاصّة به.

ما الدليل على صحّة ذلك؟

رغم ما تبدو عليه هذه القصّة من غرابة حين تسمعها للمرّة الأولى، فإن علينا أن نأخذها مأخذ الجدّ، لأنها مدعومة بعدد وافر من الأدلّة.

المؤشّر الأوّل على أن الانفجار العظيم قد وقع فعلًا تمثّل في اكتشاف أن الكون آخذ في التمدد. فإذا كان الكون آخذًا في التمدد الآن، فإن المنطق يقضي بأنه كان صغيرًا للغاية في وقت ما من الماضي البعيد. ونحن نعرف أن الكون آخذ في التمدّد لأن لدينا أدوات وطرق للرصد لم تكن متاحة لشعب بحيرة مونجو، رغم أننا واثقون من أنهم كانوا راصدي فلك متميزين بالعين المجرّدة.

افترض معظم علماء الفلك منذ عصر نيوتن أن الكون من المؤكّد أنه لا نهائي، لأنه لو لم يكن كذلك، لكانت قوانين الجاذبيّة قد جمعت محتوياته معًا في كتلة واحدة مترجرجة، كالزيت المتجمّع في خندق صرف. وبحلول القرن التاسع عشر، كان الفلكيون يمتلكون أدوات دقيقة بما يكفي بحيث شرعوا في رسم توزيع المجَرّات والنجوم، وبدأت الخرائط الفلكية التي صنعوها تشير إلى وجود صورة مغايرة تمامًا للكون.

بدأ رسم الخرائط بالسُّدُم، تلك اللطخات الغائمة التي ظهرت في كل خرائط النجوم. (نحن الآن نعرف أن غالبية السُّدُم ما هي إلا مجَرّات كاملة، وكل منها يضم مليارات النجوم.) كم كانت تبعد النجوم؟ وما هي طبيعتها بالضبط؟ وهل كانت تتحرّك؟ مع الوقت، عرف الفلكيون كيف يستخرجون مزيدًا ومزيدًا من المعلومات عن النجوم من الضوء الذي تشعّه، وتلك المعلومات تتضمّن المسافة التي تبعدها النجوم عنا، وما إذا كانت آخذة في الاقتراب منا أم الابتعاد عنا.

أحد أبرع الطرق لدراسة حركة النجوم والسُّدُم تقوم على استخدام تأثير دوبلر (المسمى تيمنًا بالرياضي النمساوي كريستيان أندرياس دوبلر، الذي عاش في

القرن التاسع عشر)، من أجل قياس السرعة التي تتحرّك بها النجوم أو السُّدُم مقتربةً منا أو مبتعدةً عنا. تنتقل الطاقة في موجات، والموجات لها تردّدات، مثلها مثل أمواج الشاطئ. وهي تصل إلى قممها على مسافات دورية يمكنك قياسها. غير أن التردّد يختلف إذا كنت تتحرّك. فإذا دخلت المحيط، ثم سبحت متوغلًا فيه، سيزداد التردّد الذي تقابل به الأمواج. نفس الأمر يحدث مع موجات الصوت. فإذا كان الجسم الذي يصدر صوتًا، كالدرّاجة النارية مثلًا، يتحرّك مقتربًا منك، سيبدو تردّد موجات الصوت وكأنه يزداد، وستفسر أذناك التردّد الأعلى على أنه نغمة أعلى. وبعد أن تجتازك الدرّاجة النارية، ستبدو النغمة وكأنها تنخفض؛ لأن الموجات الآن تطول. إن راكب الدرّاجة، بطبيعة الحال، لا يتحرّك نسبةً إلى الدرّاجة نفسها، وهو يستمر في سماع النغمة عينها. وتأثير دوبلر هو التغيّر الظاهري في تردّد الانبعاثات الكهرومغناطيسية بينما تتحرّك الأجسام مقتربة من بعضها أو مبتعدة عن بعضها.

ينطبق المبدأ نفسه على ضوء النجوم. فإذا كان ثمّة نجم أو مجَرّة تتحرك مقتربة من الأرض، سيبدو تردّد موجات الضوء المنبعث منها وكأنه يزداد. تفسّر أعيننا الضوء المرئي ذا التردّد الأعلى على أنه ضوء أزرق، ولهذا نقول إن الضوء انزاح نحو الطرف الأزرق من الطّيف الكهرومغناطيسي. لكن لو كان النجم أو المجَرّة تتحرّك مبتعدة عن الأرض، سيبدو تردّد الضوء المنبعث منها وكأنه يتحرّك نحو الطرف الأحمر من الطيف، ويقول الفلكيون إنه انزاح انزياحًا أحمر. ويمكننا معرفة السرعة التي يتحرّك بها النجم أو المجَرّة عن طريق قياس مقدار انزياح التردّد.

في العام ١٨١٤ اخترع عالم ألماني شاب، هو جوزيف فون فراونهوفر، أول جهاز علمي لتحليل الطيف، يُسمى منظار التحليل الطيفي، وهو منشور خاص يقسِّم تردّدات ضوء النجوم مثلما يقسِّم المنشور الزجاجي الضوء إلى ألوان قوس قزح. وقد وجد فراونهوفر أن خطوط الطيف الآتية من ضوء الشمس بها خطوط داكنة رفيعة عند تردّدات معيّنة، وكأنها أكواد شريطية كونية. وفي النهاية بيَّن عالمان ألمانيان، هما جوستاف كيرشوف وروبرت بنزن، في المختبر أن ثمة عناصر معيّنة تطلق أو تمتصّ طاقة الضوء عند تردّدات معيّنة. وقد بدا أن الخطوط الداكنة كانت نتيجة امتصاص الضوء الآتي من قلب الشمس بواسطة ذرّات العناصر المختلفة الموجودة في المناطق الخارجية الأبرد بالشمس. قلّل هذا

من الطاقة عند تلك الترددات، تاركًا خطوطًا داكنة على طيف الانبعاث. نطلق على هذه الخطوط الداكنة اسم خطوط الامتصاص، وتولِّد العناصر المختلفة أنماطًا مختلفة من خطوط الامتصاص. على سبيل المثال، توجد خطوط متفرّدة خاصّة بعنصرَيّ الكربون والحديد. وإذا انزاح ضوء الشمس انزياحًا أحمر، حينها فإن كل هذه الخطوط تنزاح نحو الطرف الأحمر من الطيف، بل ويمكننا قياس المدى الدقيق الذي انزاحت به. وهذا لدى الفلكيين هو مكافئ كاشف السرعة الذي يستخدمه رجال شرطة المرور.

في بدايات القرن العشرين، استخدم فلكي أمريكي يدعى فيستو سليفر هذه الطرق كي يبيّن أن عددًا كبيرًا

من الأجرام الفلكية كانت تنزاح انزياحًا أحمر؛ بمعنى أنها كانت آخذة في الابتعاد عن الأرض بسرعة كبيرة. كان ذلك التشتّت عجيبًا للغاية. ولم يتّضح معناه الحقيقي إلا حين جمع فلكي أمريكي آخر، هو إدوين هابل، بين هذه النتائج وبين القياسات الخاصّة بالمسافات التي تبعدها هذه الأجرام البعيدة.

إن تقدير المسافة التي تبعد بها النجوم والسُّدُم مهمة صعبة. نظريًّا، كما فهم الإغريق، يمكنك استخدام طريقة التخاطل، مثل المسَّاح. فعلى مدار شهور، وبينما تدور الأرض حول الشمس، راقِب النجوم كي ترى ما إذا كان بعضها يبدو وكأن موضعه قد تغيّر نسبةً إلى النجوم الأخرى. وإذا حدث هذا، يمكنك استخدام حساب المثلثات كي تحسب المسافة التي تبعد بها هذه النجوم. لكن لسوء الحظ فحتى أقرب النجوم، قنطور الأقرب، بعيد للغاية (إذ يبعد نحو أربع سنوات ضوئية عن الأرض) إلى درجة أنه لا يمكن رصد أي حركة في موضعه من دون معدّات متقدّمة. ولم يتمكّن الفلكيون من قياس المسافة بيننا وبين النجوم القريبة باستخدام أسلوب التخاطل إلا في القرن التاسع عشر. لكن على أيّ حال، كانت الأجرام التي درسها فيستو سليفر أبعد من ذلك كثيرًا.

لحسن الحظ، وجدت هنريتا ليفيت، عالمة الفلك الرصدي في جامعة هارفرد، في أوائل القرن العشرين طريقةً لقياس المسافة التي تفصلنا عن النجوم والسُّدُم البعيدة باستخدام نوع خاص من النجوم يعرف بالمتغيّر القيفاوي، وهو نجمٌ يتباين سطوعه بصورة دورية (النجم القطبي هو نجم قيفاوي). وقد وجدت علاقة ارتباط بسيطة بين تردّد التباينات وبين درجة لمعان النجم، أو سطوعه، وبذا صارت قادرة على حساب السطوع المطلق لأي نجم قيفاوي. بعد ذلك، وعن طريق مقارنة السطوع

المطلق بالسطوع الظاهري للنجم عند رصده من الأرض، أمكنها حساب المسافة التي يبعدها النجم، لأن مقدار الضوء الآتي من النجم يتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة التي يقطعها. وقد وفّرت هذه الطريقة الرائعة الشموع المعيارية الفلكية التي احتاجها إدوين هابل كي يتوصّل إلى اكتشافين عميقين بشأن كوننا.

في بدايات القرن العشرين اعتقد معظم الفلكيين أن الكون كلّه كان منحصرًا في مجَرّتنا، درب التبانة. وفي العام ١٩٢٣ استخدم هابل واحدًا من أقوى التليسكوبات في العالم، في مرصد جبل ويلسون في لوس أنجلوس، كي يبين أن المتغيرات القيفاوية الموجودة في السديم المعروف وقتها باسم سَديم أندروميدا كانت بعيدة للغاية إلى درجة أنه كان من المستحيل أن تكون جزءًا من مجرّتنا. وقد أثبت هذا ما شك فيه بعض الفلكيين: إن الكون كان أكبر كثيرًا من مجَرّة درب التبانة، وأنه يتألف من مجَرّات عديدة، وليس من مجرّتنا وحدها.

كما توصل هابل إلى اكتشاف أكثر إثارة للدهشة حين بدأ في قياس المسافة بيننا وبين عدد كبير من الأجرام البعيدة باستخدام المتغيّرات القيفاوية. وفي العام ١٩٢٩ بيَّن هابل أن كل المجَرّات تقريبًا تبدو وكأنها تتحرّك مبتعدة عنا، وأن الأجرام الأبعد بدت وكأنها تمتلك أكبر إزاحات حمراء. بعبارة أخرى، كلما كان الجرم أبعد، كان يتحرّك مبتعدًا عنا بسرعة أكبر. وبدا أن هذا يعني أن الكون كلّه كان آخذًا في التمدّد. كان الفلكي البلجيكي جورج لومتر قد شكّ في هذا على أساس نظري خالص. وكما أوضح لومتر فإذا كان الكون يتمدّد الآن، ففي وقت ما من الماضي لا بد أن كل شيء في هذا الكون كان منضغطًا في حيز ضئيل، وهو ما وصفه بمصطلح الذرّة البدائية.

أصيب معظم علماء الفلك بالصدمة من فكرة تمدّد الكون وافترضوا أنه كان ثمة خطأ في حسابات هابل. بل إن هابل نفسه لم يكن متأكّدًا تمامًا من الأمر، وكان آينشتاين مقتنعًا بأن الكون كان ثابتًا إلى درجة أنه عبث بمعادلات النسبية العامّة حتى تتنبأ بوجود كون ثابت، وذلك عن طريق إضافة ما سمّاه الثابت الكوني.

كان تشكّك الفلكيين راجعًا في جزء منه إلى وجود مشكلات حقيقية بشأن تقديرات هابل. فوفقًا لحساباته بدأ تمدّد الكون منذ ملياري عام فقط، ومع ذلك فقد كان الفلكيون يعرفون بالفعل أن الأرض والمجموعة الشمسية كانتا أكبر عمرًا من ذلك كثيرًا. لهذا السبب، وعلى مدار عقود عديدة، اعتبر معظم الفلكيين أن فكرة تمدّد الكون مثيرة للاهتمام، لكنها على الأرجح خاطئة. وقد فضّل كثيرون منهم الفكرة

البديلة الخاصّة بكون الحالة الثابتة، والتي اقترحها في العام ١٩٤٨ كلٌّ من هيرمان بوندي وتوماس جولد وفريد هويل. كان أنصار فكرة كون الحالة الثابتة يوافقون على أن المجَرّات تبدو وكأنها تتحرّك مبتعدة، غير أن المادة الجديدة كان يجري خلقها في الوقت ذاته، وبهذا على النطاق الواسع ظلّ الكون بنفس كثافته ولم يتغيّر إلا قليلًا.

لكن في نهاية المطاف، رجَّحت الأدلة كفّة الكون المتمدّد. ففي أربعينيات القرن العشرين، بيَّن فالتر بادي، الذي كان يعمل في مرصد جبل ويلسون في لوس أنجلوس (نفس المرصد الذي كان يعمل فيه هابل)، أنه كان يوجد نوعان من النجوم المتغيّرة القيفاوية، وأنهما يعطيان تقديرات متباينة للمسافة. وقد أشارت حسابات بادي المنقَّحة إلى أن الانفجار العظيم ربما وقع منذ أكثر من ١٠ مليار عام (تشير التقديرات الحالية إلى أنه وقع منذ ١٣,٨٢ مليار عام). حلّ هذا مشكلة التتابع الزمني للحوادث. واليوم لا نعرف بشأن أي جرم يزيد عمره على ١٣,٨٢ مليار عام، وهذا دليل قوي يؤيّد علم كونيّات الانفجار العظيم. فعلى أي حال، لو كان الكون ثابتًا وأزليًّا، لكان من المفترض أن يوجد العديد من الأجرام التي يزيد عمرها على ١٣,٨ مليار عام.

جاء الدليل الحاسم في منتصف ستينيات القرن العشرين، وتضمّن اكتشاف إشعاع الخلفية الميكروني الكوني. هذا هو الإشعاع الذي أُطلِقَ عندما تكوّنت أولى الذرات، بعد الانفجار العظيم بنحو ٣٨٠ ألف عام. وقد تبيّن أن إشعاع الخلفيّة الميكروني الكوني هو البرهان الدامغ على تمدّد الكون. لماذا؟

بحلول أربعينيات القرن العشرين كان الفلكيون والفيزيائيون معجبين بما يكفي ببيانات هابل، بحيث دفعهم هذا إلى محاولة تبيّن ماذا حدث على الأرجح لو كان ثمّة انفجارٌ عظيمٌ حقًّا. ما الذي كان الكون سيبدو عليه في لحظة البداية لو كان كل شيء مضغوطًا في ذرّة بدائيّة؟ لو كان هابل ولومتر محقَّيْن، لكان الكون المبكر في حالة فائقة من الحرارة والكثافة، ولا بد أنه كان يتمدّد ويبرد بسرعة. ما هو سلوك المادّة والطّاقة في ظل هذه الظروف المتطرّفة؟ خلال الحرب العالمية الثانية، شجّع مشروع مانهاتن الهادف لبناء القنبلة الذرية الأبحاث التي تتناول فيزياء درجات الحرارة شديدة الارتفاع. وفي أواخر أربعينيات القرن العشرين، استخدم الفيزيائي الروسي المولد جورج جاموف بعض الأفكار المأخوذة من مشروع مانهاتن كي يتوصّل إلى ما كان يحدث على الأرجح في الكون عقب

الانفجار العظيم مباشرة. وقد تنبّأ، بالتعاون مع زميله رالف ألفر، بأن الكون قد برد بما يكفي بحيث تتكوّن الذرات، وأنه حين تكوّنت أولى الذرّات من المفترض أنه حدث إطلاق ضخم للطاقة مع تحرّر الفوتونات من البلازما المشحونة التي سادت الحقبة السابقة على تكوّن الذرات، وأن الفوتونات تدفّقت في حرية عبر الكون المتعادل كهربيًّا. علاوة على ذلك، ذهب الاثنان إلى أن هذه الدفقة من الطاقة من المفترض أن تظل قابلة للرصد، رغم أن تردّدها قد انخفض إلى ما يقارب الصفر لأنها استطالت عبر الكون المتمدّد. وإذا نظر العلماء بالحرص الكافي، فسيجدون إشعاعًا عند درجات حرارة تقارب الصّفر المطلق يتدفّق من جميع الاتجاهات. بدت هذه الفكرة مجنونة في نظر الكثيرين، ولهذا السبب لم يبدأ أحد في البحث عن الإشعاع المنخفض الحرارة الذي يتخلّل الكون كله.

وفي العام ١٩٦٤ رُصدت دفقة الإشعاع التي تحدّث عنها جاموف بمحض الصدفة. ففي مختبرات بِل في هولمديل بنيوجيرسي، كان اثنان من علماء الفلك الراديوي، هما أرنو بنزياس وروبرت ويلسون، يبنيان هوائيًّا راديويًّا عالي الدقة من أجل الاتصال بالأقمار الصناعية. وكي يتخلّصا من أي تداخل، قاما بتبريد هوائي الاستقبال إلى نحو ٣,٥ درجة مئوية فوق الصفر المطلق، لكن مع ذلك ظلّ هناك طنين محيّر عند درجة الحرارة المنخفضة. بدا الطنين وكأنّه يأتي من جميع الاتجاهات، وهكذا علما أنه لم يكن نتيجة انفجار نجمي ضخم ما. افترض العالمان أن ثمّة مشكلةً في هوائي الاستقبال، وقاما بإزالة زوج من الحمام كان قد سكن على الهوائي الشبيه بالبوق، ونظّفا مخلّفات الحمام، لكن لم يحدث هذا أي فارق. (مما يدعو إلى الحزن أن الحمام ظل يحاول العودة إلى الهوائي وفي النهاية تعين إطلاق الرصاص عليه). وعلى مقربة، في برينستون، كان ثمة فريق من الفلكيين بقيادة روبرت ديكي قد بدأ للتوِّ في البحث عن إشعاع جاموف، حين سمع بما اكتشفه بنزياس وويلسون. أدرك الفريق على الفور أن ثمّة من سبقهم إلى اكتشاف ذلك الإشعاع. وقرر الفريقان التعاون في كتابة الأوراق التي تصف الاكتشاف. وقد ذهبوا إلى أنه كان على الأرجح الطاقة المتخلّفة عن الانفجار العظيم التي تنبّأ جاموف بوجودها.

أقنع اكتشاف إشعاع الخلفية الميكروني الكوني غالبية الفلكيين بأن الانفجار العظيم حقيقي، لأنه لم يكن بوسع أي نظرية أخرى أن تفسّر وجود ذلك الإشعاع الذي

يتخلّل الكون كله. إن الخروج بتنبؤ عجيب وناجح كهذا هو الطريقة الأقوى لإقناع العلماء بأن النظريّة صحيحة. فالكون، كما يبدو، يتمدّد بالفعل، وظهر بالفعل نتيجة انفجارٍ عظيمٍ.

واليوم، الأدلّة القائلة بأن كوننا بدأ بانفجار عظيم، دامغة. لا يزال ثمة عددٌ من التفاصيل بحاجة إلى الحسم، لكن في الوقت الحالي الفكرة الجوهرية راسخة بقوة بوصفها الفصل الأول لقصّة الأصل الحديثة. هذه هي نقطة البدء. ومثلما تسمح فيزياء الكم للأشياء بالظهور من الفراغ، يبدو أن الكون كلّه انبثق بالفعل من نوع من العدم العامر بالاحتمالات(٢٤)[٢٤].

[٢٤] (٢٤) للمزيد حول هذه الفكرة راجع لورانس كرواس في كتابه A Universe from Nothing كون من لا شيء (الطبعة العربية صادرة عن منشورات الرمل - توزيع دار التنوير ٢٠١٥)

الفصل الثاني : النجوم والمجَرّات:

المحطّتان الثانية والثالثة

البشرية مصنوعة من مادة نجمية.

هارلو شابلي، View from a Distant Star

منحنا الانفجار العظيم كونًا، لكن على مدار عدّة مئات الملايين من الأعوام كان الكون بسيطًا للغاية. ومع ذلك فتحْتَ السطح كانت تعتمل عدّة احتمالات جديدة مثيرة للاهتمام، وفي النهاية، بدأت النجوم المجَرّات في إضاءة الظلام. وقد أضافت مجموعة جديدة بالكامل من الشخصيّات إلى قصّتنا، خصائص جديدة بازغة، وأشكالًا جديدة من التعقيد، وقادت الكون عبر المحطّة الثانية المتمثّلة في التعقيد المتزايد. ومن أجل تفسير الكيفية التي ظهرت بها هذه الأجرام الجديدة المهيبة، علينا العودة إلى البداية.

الطاقة الحرّة: المحرك وراء التعقيد

في الثواني والدقائق التي أعقبت الانفجار العظيم، كان الكون في حالة حركة ديناميكية حرارية حرّة. وعلى مدار لحظات قليلة مذهلة، كان هناك ما يكفي من الطاقة لصنع وإفناء أشكال جديدة وعجيبة من الطاقة والمادة. لكن مع انخفاض درجات الحرارة، تجمّدت الطاقة والمادّة على صورة بضع بنى بسيطة. وفي أتون الانفجار العظيم، استقرّت القوى والجُسَيْمات كالآنية الفخارية المسفوعة بالنيران. ومعًا، أدت الطاقات العنيفة للانفجار العظيم وبضع قواعد بسيطة إلى إنتاج بنى مثل البروتونات والإلكترونات تتسم بالاستقرار الشديد، لأن درجات الحرارة التي أنتجتها من النادر أن تظهر مجدّدًا في الكون الآخذ في البرودة.

بعد ذلك تباطأ الانخفاض في الحرارة، وكأنّ الكون كان يهبط جبلًا ديناميكيًّا حراريًّا وصولًا إلى وادٍ. استوت المنحدرات، وانخفضت درجات الحرارة بصورة أقلّ حدّة، وقلّت سرعة التغيير، بينما أفسح المنحدر الديناميكي الحراري للكون المبكر السبيل أمام مشهد أكثر استواءً وأقلّ تذبذبًا يمكن فيه لدرجات الحرارة أن ترتفع مثلما تنخفض. حينها صار من الأصعب الحفاظ على البنى الجديدة لأن بإمكانها أن تتفكّك بفعل أي زيادة ولو معتدلة في الحرارة. فالذرّات، مثلًا، تفكّكت داخل النجوم الأولى حين ارتفعت درجات الحرارة فوق العشرة آلاف درجة مئوية تقريبًا.

في هذه البيئات الأقلّ توقعًا، احتاجت البِنى المعقّدة إلى دعم إضافي لو كان لها أن تستقرَّ. وقد قُدِّمَ هذا الدعم من قبل تدفّقات محكومة وغير عشوائية من الطّاقة. إن النجوم تحافظ على تماسكها عن طريق تدفّقات الطّاقة المولَّدة في قلوبها. والكائنات الحيّة، مثلي ومثلك، تحافظ على تماسكها عن طريق تدفّقات الطّاقة الرقيقة والموجّهة بدقّة التي تديرها عمليات أيضيّة معقّدة في خلايانا. وفي كون ما بعد الانفجار العظيم، تطلّب بناء البنى الجديدة المعقّدة والحفاظ عليها شُغلًا. ولهذا السبب ثمّة رابط عميق بين الشكل والتعقيد والتدفّق الموجّه أو المنظِّم للطاقة.

التدفّقات المنظِّمة للطّاقة وصف بديهي وليس مصطلحًا علميًّا متخصّصًا، لكن إليك بالفكرة التي يقوم عليها: تميّز النظرية الديناميكية الحرارية بين تدفّقات الطّاقة العشوائية بالكامل وتدفّقات الطاقة التي لها اتجاه وبنية وتماسك، بحيث تكون قادرة على تأدية الشغل. تُعرَف تدفّقات الطّاقة المنظِّمة باسم الطاقة الحرّة، بينما التدفّقات غير المنظِّمة تُعرَف باسم الطّاقة الحرارية. والفارق بين الاثنين ليس مطلقًا. ونحن نتحدث حقًّا عن درجات من التماسك أو العشوائية. ومع هذا فإن التمييز بين الطّاقة الحرّة والطّاقة الحرارية له أهمّية جوهرية في قصّة الأصل الخاصّة بنا.

يخبرنا القانون الأول للديناميكا الحرارية بأن إجمالي الطّاقة داخل الكون لا يتغيّر مطلقًا. فهو محفوظ. ويبدو كوننا وكأنه قد وصل بقدرة ثابتة على إمكانية حدوث الأشياء. وبهذا فإن القانون الأول يخبرنا حقًّا بشأن المحيط البدائي للاحتمالات. أما القانون الثاني للديناميكا الحرارية فيخبرنا بأن الأشياء التي تظهر من محيط الاحتمالات يمكن أن تكون منظّمة بدرجة أو بأخرى، مثل التموّجات على سطح الجدول. لكنْ، حريٌّ بنا أن نتوقّع أن معظمها سيكون أقلّ تنظيمًا، بلّ وأنه سيصير أقلّ تنظيمًا مع مرور الوقت. سبب هذا هو أن غالبية الترتيبات المحتملة للمادّة والطّاقة ليس لها بنية أو لها بنية ضعيفة، وإذا عثرت على البنية بمحض الصدفة فلتتوقّع أن تتفكّك هذه البنية بسرعة.

يعد الشلال مثالًا جيدًا لهذا الأمر. يوجد لدينا هنا قدر كبير من البنية، لكنها سوف تتبدّد في نهاية المطاف. إن جُزَيْئات الماء عند قمة الشلال لا تتحرّك في كل اتجاه بعشوائية، مثل جُزَيْئات الهواء داخل مرطبان، وإنما تتحرّك كلّها في الاتجاه عينه، مثل القطط التي تجوس خلسة، مجمِّعةً أكبر قدر ممكن منها معًا. يرجع هذا إلى أنه بخلاف جُزَيْئات الغازات التي تتحرّك بصورة منفردة، تتماسك جُزَيْئات السوائل معًا بفعل القوة الكهرومغناطيسية، وبهذا تستطيع الجاذبية أن تحرّكها في

تشكيلٍ متقاربٍ وفي الاتجاه عينه، وكأنهم جنودٌ في مسيرة. وبينما تتدفّق المياه من فوق الحافّة، تتحوّل طاقة الوضع (الطاقة الكامنة) إلى طاقة حركية، أو طاقة الحركة. هذه حركة متّسقة في اتجاه واحد. وهي حركة منظّمة بحيث يمكننا أن نصف الطاقة التي تحرّكها بأنها طاقة حرّة. والطاقة الحرة، على العكس من الطاقة الحرارية العشوائية لجُزَيْئات الغازات، يمكنها بذل الشغل لأن لديها بعض البنية والشكل ويمكنها دفع الأشياء في اتجاه واحد بدلًا من دفعها في كل اتجاه عشوائيًّا(٢٥)[٢٥]. ويمكنك، إذا أردت، أن توجّه تدفّق الطّاقة الحرّة عبر أحد التوربينات ومن ثم تولِّد الكهرباء. إن الطّاقة الحرّة هي ما تنجز الأشياء. إنها المحرّك السريع الذي لا يقف شيء في طريقه في قصّة الأصل الخاصّة بنا.

لكن خلافًا للطّاقة في العموم، فإن الطّاقة الحرّة غير محفوظة. فهي غير مستقرّة، مثل الزنبرك الآخذ في التحرّر من التفافه. وحين ترتطم مياه الشّلال بالصخور في القاع، فإنها تتحوّل إلى طاقة حرارية مشتتة وغير مترابطة، ويتقافز كل جُزَيْء بصورة مستقلّة عن الآخر. لا تزال الطّاقة موجودة، وهي لا تزال محفوظة (هذا ما ينصّ عليه القانون الأول للديناميكا الحرارية)، غير أن الجُزَيْئات تتدافع في عدد كبير من الاتجاهات بحيث إنّ طاقتها تعجز عن تشغيل أي توربين. لقد تحوّلت الطّاقة الحرّة إلى طاقة حرارية. ويخبرنا القانون الثاني للديناميكا الحرارية بأنه، على المدى البعيد للغاية، كل صور الطاقة سوف تتحوّل إلى طاقة حرارية.

إن الطّاقة الحرارية، مثل رجل المرور الفوضوي، توجّه الطّاقة في كل مكان وتخلق فوضى. أما الطّاقة الحرّة، مثل رجل المنظَّم، فتوجّه الطاقة في مسارات محدّدة وتخلق نظامًا. ولحسن حظنا فقد كان يوجد قدر من الطّاقة الحرّة في الكون المبكر، وذلك بفضل القواعد الأساسية الحاكمة للكون. وقد وجهت تلك القواعد الطّاقة في مسارات معينة غير عشوائية وضمنت وجود قدر من البنية على الأقل.

المحطة الثانية

المجَرّات والنجوم

---

[٢٥] 25) "From a molecular viewpoint, the raising of a weight corresponds to all its atoms moving in the same direction….Work is the transfer of energy that makes use of the uniform motion of atoms in the surroundings." Peter Atkins, Four Laws that Drive the Universe (Oxford: Oxford University Press, 2007), 32.

كانت الطاقة الحرّة هي ما دفع أولى البنى الكبيرة؛ المجَرّات والنجوم، إلى الظهور. وقد كان المصدر الأساسي والحيوي للطاقة الحرة في هذا الجزء من قصّة الأصل الخاصّة بنا هي الجاذبيّة. فمثل كلب الراعي الكوني، تحب الجاذبية جمع الأشياء معًا. والأشياء التي جمعتها كانت الأشكال البسيطة من المادة التي أوجدها الانفجار العظيم. ومعًا، وفّرت الجاذبية والمادة الظروف المثالية لظهور النجوم والمجَرّات.

وتبيّن الدراسات التي أجريت على إشعاع الخلفية الميكروني الكوني أنه في حقبة الكون المبكر كان يوجد قدر ضئيل للغاية من البنية على النطاق الواسع. فكّر في غلالة رقيقة من ذرات الهيدروجين والهليوم تطفو في حمّام دافئ من المادّة المظلمة التي تتخلّلها فوتونات الضوء، وكلّها لها درجة الحرارة نفسها تقريبًا. نحن نعرف أن الكون المبكر كان متجانسًا لأن بمقدورنا قياس الاختلافات في درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، وقد وجدنا أن الأجزاء الأكثر سخونة في الكون المبكر كان أدفأ بنحو جزء واحد من المائة من الدرجة مقارنة بالأجزاء الأبرد. لا وجود لتدريج حراري يمكن استخدامه هنا، ولا شلّال من الطّاقة يمكنه أن يُنشئ بِنًى جديدة. ويمكنك توليد اختلاف أكبر في درجة الحرارة الآن عن طريق حكّ وجهك بأصبعك.

بعد ذلك بدأت الجاذبية في تحويل هذه المادة غير الواعدة إلى شيء أكثر إثارة للاهتمام. فبينما كان الانفجار العظيم يدفع الفضاء بعيدًا، كانت الجاذبية تعكف على جذب الطاقة والمادة معًا.

كانت فكرة الجاذبية محورية في فهم نيوتن للكون، ومثّلت واحدة من الأفكار محل الإجماع في الثورة العلمية. وقد أوضح نيوتن الكيفية التي تعمل بها الجاذبية في واحد من أهم الأعمال العلمية في التاريخ: كتاب «الأصول الرياضية للفلسفة الطبيعية»، المنشور العام ١٦٨٧. وقد رأى نيوتن الجاذبية بوصفها قوّة كوّنية شاملة للجذب، تعمل بين الكتل جميعًا. وبعد قرنين ونصف القرن بيَّن آينشتاين أن الطّاقة يمكنها أيضًا أن تمارس قوّة جذب، لأن المادّة مصنوعة في الأساس من الطّاقة.

وقد صدر عن آينشتاين تنبّؤٌ آخر مهمٌ بشأن الجاذبية: إنها كانت شكل من أشكال الطاقة ومن ثم فبوسعها، مثل الكهرومغناطيسية أو الصوت، أن تولّد موجات. غير أن أآينشتاين خشي أن تكون الموجات ضئيلة للغاية بحيث يتعذّر على أي شخص

رصدها. وفي سبتمبر العام ٢٠١٥، وفي تجلٍّ رائعٍ للعلم في أفضل صوره، رُصِدَت موجات الجاذبية أخيرًا بواسطة آلتين عملاقتين، واحدة في لويزيانا والثانية في ولاية واشنطن، يديرهما مرصد موجات الجاذبية بالتداخل الليزري، المعروف اختصارًا بالاسم ليجو. وفي العام ٢٠١٧ فاز ثلاثة من الرجال الذين أسهموا إسهامًا عظيمًا في المشروع بجائزة نوبل للفيزياء. إن موجات الجاذبية التي رصدها ليجو وُلِّدَت منذ مائة مليون عام، حين اصطدم ثقبان أسودان في مجَرّة بعيدة في موضع ما من السماء الجنوبية. (حين تصادم الثقبان كانت الديناصورات لا تزال تهيمن على كوكبنا). وعلى الأرض، قسمت كل آلة من الآلتين التابعتين لمرصد ليجو أشعة الضوء إلى جزأين وأرسلتهما بزاوية عمودية أحدهما على الآخر عبر أنبوبين طول كل منهما أربعة كيلومترات ومزودَيْن بمرايا عند الأطراف. وحين عاد الشعاعان بعد حوالي ثلاثمائة دورة، لم يعودا في الوقت ذاته. فقد تسبّبت موجات الجاذبيّة الضئيلة في استطالة الأنبوبين في أحد الاتجاهات وانكماشه في الاتجاه الآخر بمسافة تقل كثيرًا عن عرض البروتون. والآن وقد عرف علماء الفلك أن موجات الجاذبية لها وجود، فإنهم يأملون أن يتمكّنوا من استخدامها في دراسة الكون بطرق جديدة.

من منظور الجاذبية، كان الكون المبكر متجانسًا بدرجة أكثر مما ينبغي. كان بحاجة إلى التكتّل. ويفسّر ميل الجاذبية إلى إعادة ترتيب الكون لماذا يمكننا التفكير في الكون المبكر بوصفه يمتلك إنتروبيا منخفضة، نوعًا من النظام والترتيب الذي ستعمل الإنتروبيا على إشاعة الفوضى فيه على مدار مليارات الأعوام القليلة التالية. وبمجرد أن انطلقت الجاذبية فإنها استغرقت بضع مئات الملايين من الأعوام فقط كي تحوّل شبورة الجُسَيْمات المتجانسة في الكون المبكر إلى فضاء أكثر فوضى وتكتلًا مليئًا بالنجوم والمجَرّات.

وكما بيَّن نيوتن، فإن قوة الجاذبية تزداد في وجود الكتلة وفي المواضع التي تكون فيها الأشياء متقاربة. لهذا السّبب تبذل الأرض قوة جاذبية على الأشياء أكبر كثيرًا مما تفعل أنت، وهو أيضًا السبب وراء تأثيرها الضعيف عليك حين تبتعد عن سطحها، كأن تكون في محطة الفضاء الدولية مثلًا. الآن لنركز على مكعّب صغير من شبورة الجُسَيْمات بالكون المبكر، ونتخيّل أن المادّة المظلمة والذرات متكتلة على نحو عشوائي في أحد أركان المكعّب أكثر قليلًا من غيره. تخبرنا قوانين نيوتن أن الجاذبية ستكون أقوى في الركن الأشد كثافة، وبذا ستنجذب المادة بقوّة

أكبر، والفارق بين المناطق الأشد كثافة والمناطق الخالية سيتعاظم. وبهذه الطريقة، مكعب تلو الآخر، جعلت الجاذبية الكون أكثر تكتّلًا على مدار ملايين السنين.

وبينما كانت الجاذبية تعمل على جذب الذرّات معًا، فإنها أخذت تتصادم وتهتز بقوّة أكبر. وتسبب هذا في رفع درجات الحرارة في المناطق الأكثر تكتلًا، بينما تركز المزيد من الحرارة في مناطق أصغر من الفضاء. (المبدأ نفسه يفسِّر لماذا يصير إطار العربة أدفأ حين تضخ فيه الهواء). ورغم أن بقية الكون كان آخذًا في البرودة، فإن المناطق المتكتّلة بدأت تسخن مجدّدًا. وفي النهاية، صارت بعض الكتل ساخنة للغاية إلى درجة أنها عجزت عن الاحتفاظ بإلكتروناتها. تفكّكت الذرّات، وأعادت داخل كل كتلة إنشاء البلازما المشحونة العامرة بالكهرباء التي تخلّلت في السابق أرجاء الكون كلّه.

وبينما زادت الجاذبية من الضغط، صارت المناطق الكثيفة أشدّ كثافة، وأخذت قلوبها تسخن بشدة، وبدأت الجاذبية تعيد خلق الطّاقات العالية التي شهدتها حقبة الكون المبكر. وعند درجة حرارة عشرة ملايين درجة مئوية، صارت البروتونات تمتلك طاقة هائلة إلى درجة أنها أخذت تتصادم في عنف وتغلّبت على التنافر بين شحناتها الموجبة. وبمجرّد أن تجاوزت البروتونات هذا الحاجز، فإنها بدأت في الارتباط في أزواج، وربطتها معًا القوة النووية القوية، التي تعمل فقط على نطاقات مسافة شديدة الصغر. كوَّنت أزواج البروتونات نوى الهليوم كما فعلت في السابق، بصورة وجيزة، عقب الانفجار العظيم مباشرة.

وبينما التحمت البروتونات، فإن بعضًا من كتلتها تحوّل إلى طاقة صافية، وكما رأينا من قبل فإن أصغر كميات المادة يحتوي على مقدار هائل من الطاقة. وهذه هي نفس الطّاقات الهائلة التي تطلقها القنبلة الهيدروجينية، التي تعمل، مثل كلّ نجم من النجوم، بقوّة الاندماج النووي. وهكذا، بينما يجتاز قلب أي سحابة من المادّة العتبة الحرجة البالغة عشرة ملايين درجة مئوية، تبدأ تريليونات البروتونات في الاندماج مكوِّنةً نوى الهيلوم، وهو ما يخلق أتونًا يطلق كميات هائلة من الطاقة. وبمجرد أن يشتعل ذلك الأتون فإنه يواصل الاحتراق ما دام توجد بروتونات حرّة كافية كي تستمر عمليات الاندماج.

إن الطاقات الهائلة التي يطلقها الاندماج النووي تتسبّب في تسخين القلب إلى درجة أنه يتمدّد ويقاوم الجاذبية. وبعد ذلك تستقرّ البنية كلّها لملايين أو مليارات السنين. لقد ولد نجم.

كونٌ ذو مجَرّات ونجوم

لم يولد نجم واحد وحسب، بل في كل منطقة متكتّلة كان يوجد مليارات النجوم، والآن بدأت تسطع مجموعات النجوم الشاسعة التي نسميها المجَرّات، مضيئةً ظلام الكون اليافع.

ذلك الكون ذو المجَرّات والنجوم مختلف كثيرًا عن كون الذرات الأولى. الآن صار للكون بنية على النطاقات الكبيرة وكذلك الصغيرة، ويمكننا أن نقول إن الكون كلّه صار أكثر تعقيدًا. ثمة مناطق مظلمة خاوية بين المجَرّات، ومناطق ساطعة كثيفة داخل المجَرّات. إن المجَرّات عامرة بالمادة والطاقة، بينما الفضاء الفاصل بينها بارد وخالٍ. لم تعد المادة المثيرة للاهتمام منتشرة كشبورة، وإنما صارت متركِّزة في ألواح وأغشية شاسعة من المجَرّات، تشبه خيوط شبكة العنكبوت، وكل مجَرّة لها بنية خاصة. غالبية المجَرّات مجَرّات حلزونية، مثل مجرّتنا درب التبانة، وفيها مئات الملايين من النجوم التي تدور ببطء حول قلب كثيف يوجد فيه عادة ثقب أسود. غير أنّ المجَرّات التي تصادمت مع المجَرّات الأخرى عادة ما يتشوّه شكلها بحيث تكون «مجَرّات غير منتظمة الشكل». والمجَرّات، بالتبعية، تتجمّع معًا بفعل الجاذبية في عناقيد، وفي عناقيد من العناقيد، وهو ما يخلق أرخبيلات نجمية تمتدّ عبر الكون بأسره.

ثمة نجوم منفردة، متناثرة عبر الكون مثل حبات الزبيب الساخنة على سطح بودنج بارد، تمتلك بنية غنية وخصائص جديدة بازغة. وكل نجم من هذه النجوم له قلب ساخن تندمج فيه البروتونات معًا، مولدةً طاقة

تقاوم الجاذبية. وفوق القلب، تنضغط الطبقات الخارجية إلى الأسفل وتمدّ القلب بوقود البروتونات. وسيعتمد تاريخ حياة النجم بالأساس على كتلته عند المولد: أي مقدار المادة التي احتوى عليها في بدايته. إن النجوم الضخمة تولّد مزيدًا من الضغط الجَذْبَوي، وبذا فهي تكون أشد حرارة من النجوم ذات الكتلة الأقل. وهذا يفسّر لماذا تحرق هذه النجوم وقودها أسرع وينتهي عمرها في غضون ملايين قليلة من الأعوام. أما النجوم ذات الكتلة الأقل فتحرق وقودها ببطء أكثر، وسيواصل العديد من النجوم الصغيرة الاحتراق لمدة تزيد على العمر الحالي للكون.

هذا الكون الأكثر تنوّعًا كانت فيه بيئات أكثر تباينًا، وإمكانيات إبداعية أعظم، وكثير من تدرّجات الطاقة. كانت هناك تدرّجات للضوء، ودرجة الحرارة والكثافة،

تتدفّق فيها الطاقة الحرّة، كالمياه المتدفّقة من الشلال. وكل نجم كان يصبّ الطّاقة في الفضاء البارد المحيط به، مولِّدًا تيارات من الحرارة والضوء والطّاقة الكيميائية يمكن استخدامها في بناء أشكال جديدة من التعقيد في المناطق القريبة منه. وتلك هي تيارات الطّاقة الحرّة التي تتيح ازدهار الحياة هنا على كوكب الأرض.

لقد أطلقت الجاذبية عملية تحوّل المادّة إلى نجوم عن طريق دمج البروتونات معًا، على الرغم من العائق الذي تتسبب به شحناتها الموجِبة المتماثلة. وسوف نرى هذا النمط يتكرّر مرارًا. إنه أشبه بقدح القهوة الذي يساعدك على استعادة نشاطك في الصباح. ويشير الكيميائيون إلى هذه الدفعة الأولية من الطّاقة باسم طاقة التنشيط، وهي طاقة عود الثقاب المشتعل الذي يبدأ حريقًا هائلًا. فثمّة نوع من الطاقة يغيِّر شيئًا ما بحيث يطلق تيارات أخرى من الطاقة الحرة التي تكون أعظم كثيرًا من طاقة التنشيط. وفي قصة تكوُّن النجوم، وفّرت الجاذبية طاقة التنشيط لعملية الاندماج وتكوّن النجوم ولكل ما تبع ذلك من عمليات.

لكنْ ثمة أحجية هنا. ماذا عن القانون الثاني للديناميكا الحرارية؟ إن الإنتروبيا تكره البنية والتنظيم، فلماذا إذًا سمحت بظهور أشياء أكثر تعقيدًا؟

إذا نظرت عن كثب إلى تدفّقات الطّاقة، سترى أن البنى المعقّدة، كالنجوم، تدفع ثمنًا باهظًا مقابل ما تتّسم به من تعقيد. انظر إلى كل الطاقة الناتجة عن الاندماج. أول ما تفعله هذه الطاقة هي أنها تدعم النجم، وتمنعه من الانهيار على ذاته. هذا يشبه رسمًا مدفوعًا للإنتروبيا، نوعًا من ضريبة التعقيد. وحين يتوقّف النجم عن توليد الطاقة، فإنه سينهار على ذاته. إن فكرة ضريبة التعقيد تساعد في تفسير ظاهرة مهمة لاحظها الفيزيائي الفلكي إريك تشايسون: إجمالًا، تحتاج الظواهر الأكثر تعقيدًا إلى تدفقات أشد من الطاقة، وقدرًا أكبر من الطاقة لكل جرام في كل ثانية. وهو يذهب في تقديراته، مثلًا، إلى أن شدّة الطّاقة المتدفّقة عبر المجتمع البشري الحديث تبلغ نحو مليون مرّة قدر شدّة الطاقة التي تتدفّق عبر الشمس، بينما الطاقة المتدفّقة عبر غالبية الكائنات الحيّة تقع في موضع وسط بين هاتين القيمتين. الأمر يبدو وكأن الإنتروبيا تطالب بالمزيد من الطّاقة من أي كيان إذا حاول أن يصير أكثر تعقيدًا، والأشياء الأكثر تعقيدًا عليها أن تجد وتدير تدفّقات أكبر وأكثر تعقيدًا من الطاقة الحرة. لا عجب أن من الصعب إنشاء أشياء أكثر تعقيدًا والحفاظ عليها، ولا عجب أنها عادة ما تتفكّك بسرعة أكبر من الأشياء

الأبسط. هذه الفكرة تقع في قلب قصّة الأصل الحديثة ويمكنها أن تخبرنا بالكثير عن مجتمعاتنا البشرية الحديثة(٢٦)[٢٦].

تحبّ الإنتروبيا هذه الصّفقة لأن الطاقة التي تدعم النجم، مثل طاقة الشلّال، عادة ما تتبدّد حين تُطلَق في الفضاء. وهكذا، بينما يحصل النجم على مزيد من التعقيد، فإنه يساعد بالمثل الإنتروبيا على تحويل الطّاقة الحرّة إلى طاقة حرارية. سنرى هذا الأمر يتكرّر في مختلف محطّات قصّة الأصل الحديثة. فالتعقيد المتزايد ليس انتصارًا على الإنتروبيا. ومن قبيل المفارقة فإن تدفّقات الطاقة التي تدعم الأشياء المعقّدة (بما فيها أنا وأنت) تساعد الإنتروبيا في مهمّتها المقبضة المتمثّلة في تفكيك كل أشكال التنظيم والبنية.

المحطة الثالثة

العناصر الجديدة والتعقيد الكيميائي المتزايد

بعد الانفجار العظيم بمليار عام، كان الكون، كالطفل الصغير، يتصرّف بالفعل بطرق مثيرة للاهتمام. لكنْ من المنظور الكيميائي، كان الكون مملًا؛ إذ كان يحتوي فقط على الهيدروجين والهليوم. وقد أدت المحطّة الثالثة المتمثّلة في التعقيد المتزايد إلى ظهور أشكال جديدة للمادة: كل العناصر الأخرى في الجدول الدوري. وباستطاعة كون يضم أكثر من تسعين عنصرًا متمايزًا أن يفعل ما هو أكثر بكثير من كون لا يضم إلا الهيدروجين والهليوم.

كان الهيدروجين والهليوم هما أولى العناصر التي ظهرت إلى الوجود، وذلك لأنهما أبسط العناصر. فالهيدروجين به بروتون وحيد في نواته، لذا نقول إن عدده الذرّي ١. أما الهليوم فيوجد بروتونان في نواته، لذا فإن عدده الذرّي ٢. وحين انطلق إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، بعد الانفجار العظيم بنحو ٣٨٠ ألف عام، كان يوجد قدر قليل كذلك من الليثيوم (عدده الذرّي ٣) والبيريليوم (عدده الذرّي ٤). هذا كل ما في الأمر. هذه فقط هي العناصر التي أوجدها الانفجار العظيم.

كانت الظروف المثالية المطلوبة من أجل إنشاء المزيد من العناصر ذات النوى الأكبر ظروفًا بسيطة: الكثير من البروتونات ودرجات حرارة عالية للغاية،

---

[٢٦] (26 See Chaisson, Cosmic Evolution, and Spier, Big History.

درجات حرارة لم توجد إلا بعد الانفجار العظيم بوقت قصير. من شأن درجات الحرارة هذه أن توجد داخل العالم المحتدم المتصارع للنجوم المحتضرة، بينما أُنهكَت هذه النجوم وترنّحت وفي النهاية تفكّكت، ولم تعد قادرة على دفع ضرائب التعقيد إلى الإنتروبيا.

ومن أجل فهم الكيفية التي تُصَنِّع بها النجوم العناصر الجديدة وهي في سكرات الموت، علينا أن نفهم أولًا الكيفيّة التي عاشت بها وشاخت.

تعيش النجوم لملايين أو مليارات الأعوام، لذا ليس بوسعنا أن نشاهدها وهي تتقدّم في العمر. ولهذا السبب فإن القصّة الحديثة لحياة النجوم وموتها لم يكن بالإمكان أن تُروى على لسان راصدين فلكيين يعتمدون على العين المجرّدة مثل شعب المايا أو شعب بحيرة مونجو أو الأثينيين القدماء. إن فهمنا الحديث مبني على الأبحاث الواردة من مختلف أنحاء العالم والتي تستخدم الأدوات ومخازن البيانات التي شيّدت في القرنين الماضيين وحسب. وتتيح هذه الأدوات والمخازن للفلكيين التشارك في معلومات حول ملايين النجوم في مختلف مراحل حياتها. وكما عبّر الفلكي الإنجليزي آرثر إدينجتون عن الأمر فإن علم الفلك يشبه السير في غابة تضم شتلات وأشجارًا نظِرة، وأخرى عتيقة على مشارف الموت(٢٧)[٢٧]. وعن طريق دراسة الأشجار في نقاط مختلفة من دورات حياتها، يمكنك في النهاية أن تتوصّل إلى الكيفيّة التي تنمو بها وتتقدّم في العمر ثم تموت.

بالنسبة إلى الفلكيين هناك خريطة أساسية واحدة تضم معًا كمية ضخمة من المعلومات حول النجوم: مخطّط هرتزبرونج-راسل. وهذا المخطّط بالنسبة إلى الفلكيين يعادل نموذج الكرة الأرضية المستخدم في الفصول المدرسية، ومثل تلك الكرات فإنه يساعدنا في استيعاب العديد من المعلومات.

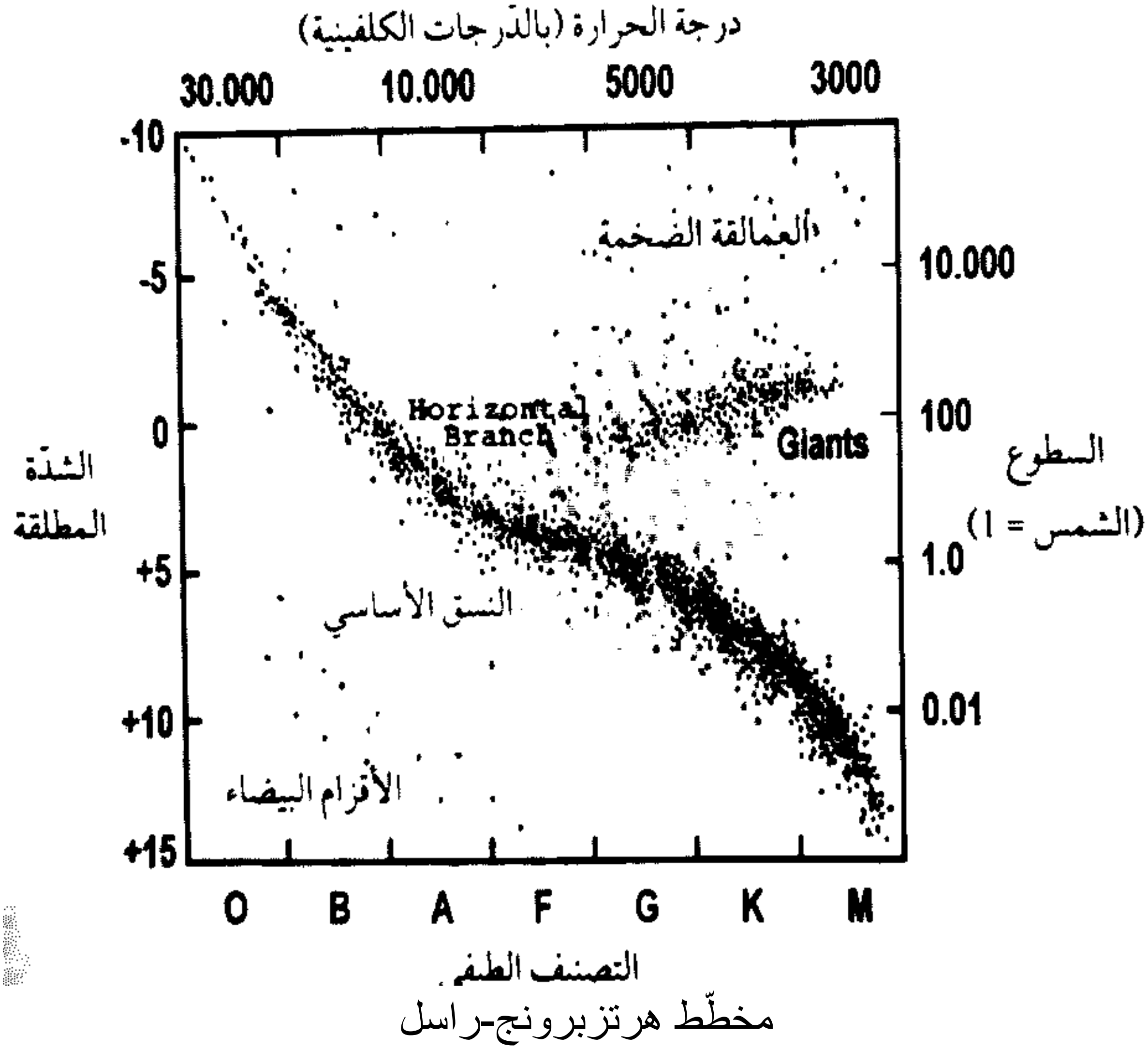
يصنِّف مخطط هرتزبرونج-راسل، الذي صُنع نحو العام ١٩١٠، النجوم وفق خاصّيتين أساسيتين. الخاصّية الأولى، الموضَّحة على المحور الرأسي، هي البريق أو السطوع الحقيقي -وهذا في حقيقته هو مقدار الطاقة التي يرسلها النجم إلى الفضاء- مقارنة بالشمس. والخاصّية الثانية هي لون النجوم، والذي يخبرنا عن درجة حرارة سطحها بالدرجات الكلفينية. عادة ما يوضَّح هذا على المحور الأفقي. وبما أن الخاصّيتين تتغيّران خلال عمر النجم، فبإمكان المخطّط أن يساعدنا في

---

[٢٧]) Andrew King, Stars: A Very Short Introduction (Oxford: Oxford University Press, 2012), 49.

فهم قصّة حياة الأنواع المختلفة من النجوم. وتعتمد الاختلافات الكبرى في تاريخ حياة النجوم بالأساس على إحصائية واحدة إضافية، وهي: كتلة سحابة المادة التي تشكّلت منها النجوم. فالنجوم عالية الكتلة لها قصّة حياة مختلفة عن النجوم منخفضة الكتلة(٢٨)[٢٨].

على مخطّط هرتزبرونج-راسل، توجد النجوم الأشد سطوعًا، تلك التي تطلق القدر الأكبر من الطاقة مثل الشعرى اليمانية، في الجزء العلوي. وفي المعتاد تمتلك هذه النجوم الكتلة الأكبر. أما النجوم الأقل سطوعًا، كالقنطور الأقرب، فتوجد في الجزء السفلي. أما شمسنا (ودرجة سطوعها ١) فتوجد في المنتصف. توجد النجوم ذات درجات حرارة السطح العالية للغاية إلى أقصى اليسار، بينما توجد النجوم ذات درجات حرارة السطح المنخفضة في أقصى اليمين.



مخطّط هرتزبرونج-راسل

---
[٢٨] Diagram from Robert L. Carneiro, "Stellar Evolution and Social Evolution: A Study in Parallel Processes," Evolution: Cosmic, Biological, and Social (2011): 68.

نسخة مبسّطة موضّح عليها المواضع التقريبية لعيّنات من أنواع النجوم المختلفة
هناك ثلاث مناطق مهمة في هذا المخطط. يمتد النسق الأساسي عبر المخطط، وهو شريط عريض منحنٍ يمتد من الجزء الأيمن السفلي إلى الجزء الأيسر العلوي. تقضي غالبية النجوم نحو ٩٠ بالمائة من حياتها في نقطة ما على النسق الأساسي. يعتمد موضع النجوم المحدّد على كتلتها، غير أن كل النجوم في النسق الأساسي تولِّد الطّاقة التي تحتاجها عن طريق دمج البروتونات إلى نوى هليوم. وهذا ما تفعله الشمس الآن أيضًا؛ فهي نجم في منتصف العمر ولا تزال داخل النسق الأساسي. وفي الجزء الأيمن العلوي من المخطّط ستجد النجوم الحمراء العملاقة المعروفة بالعمالقة الحمراء، مثل منكب الجوزاء الذي يقبع في أحد أركان كوكبة الجبار. هذه نجوم في مرحلة الشيخوخة وقد استهلكت معظم البروتونات في قلوبها وتشغل أتونها عن طريق دمج نوى أخرى أثقل. لهذه النجوم سطوح أبرد لأنها انتفخت بحيث صار قطرها يزيد على قطر الشمس بمائتي ضعف. غير أن القدر الإجمالي الذي تشعّه من الضوء هائل لأنها كبيرة الحجم للغاية، ولهذا السبب فهي توجد بالقرب من قمة المخطّط. أما المنطقة الثالثة المهمّة فتوجد في الركن السفلي الأيسر. وهناك ستجد الأقزام البيضاء، وهذه كانت عمالقة حمراء في ما سبق ثم فقدت غالبية طبقاتها الخارجية، تاركةً قلوبها الساخنة الكثيفة.

في أواخر مرحلة الشيخوخة، ينفد ما لدى النجوم من بروتونات حرّة، وتمتلئ قلوبها برماد البروتونات المندمجة؛ بعبارة أخرى نوى الهليوم. يتطلّب دمج نوى الهليوم درجات حرارة أعلى كثيرًا من دمج البروتونات المنفردة، وهكذا تتوقّف في نهاية المطاف الأتونات العاملة في قلوبها. وحين يحدث ذلك، تصير للجاذبية الكلمة العليا، وتنهار النجوم على ذاتها بفعل كتلتها. لكن ليست تلك نهاية القصة بعد. فبعد أن ينهار النجم، ترتفع حرارته مجدّدًا بينما تزيد الجاذبية من الضغط. وعلى مسافة بعيدة من القلب، تتمدّد الطبقات الخارجية للنجم وتبرد كي تبقي كل شيء متوازنًا. بالنسبة إلينا، تبدو هذه الطبقات الخارجية حمراء، ولهذا السبب نطلق على النجم في هذه المرحلة اسم العملاق الأحمر. وحين تصل شمسنا إلى هذه المرحلة، سوف تتمدّد لنحو مائتي ضعف حجمها الحالي، وتبخِّر الكواكب الداخلية، ومن بينها كوكب الأرض.

إذا كان العملاق الأحمر يمتلك الكتلة الكافية، فسوف تضغطه الجاذبية بإحكام لدرجة أن قلبه سيصير أسخن مما كان عليه مسبقًا، وسيكون ساخنًا لدرجة أن يبدأ

النجم في دمج نوى الهليوم إلى نوى أثقل، كالكربون (ذي الستة بروتونات) والأوكسيجين (ذي الثمانية بروتونات). لقد أعيد إحياء النجم، غير ان دمج نوى الهليوم عملية أكثر تعقيدًا من دمج البروتونات وتولّد طاقة أقل، لهذا تكون للنجوم في هذه المرحلة معدّلات عمرية أقلّ. سوف تمرّ النجوم شديدة الضخامة بمراحل عديدة من التمدّد المحموم المتزايد ثم الانكماش. وسوف يندمج الكربون والأوكسيجين كي يكوّنا عناصر أخرى بداية من المغنيسيوم والسليكون وانتهاءً بالحديد. وبينما ترتفع درجة حرارة النجم، تشرع آلية أخرى في العمل، وتحوّل بعض النيوترونات إلى بروتونات كي تصنع أنواعًا جديدة من النوى. وفي النهاية يصير القلب كرة ضخمة من الحديد محاطة بطبقات من العناصر الأخرى.

وهذه هي نهاية الطريق، لأن ليس من الممكن توليد طاقة عن طريق دمج نوى الحديد. وفي النهاية، سوف تطرح غالبية النجوم عنها الطبقات الخارجية وينتهي بها الحال كأقزام بيضاء، وهذه توجد في الركن السفلي الأيسر من مخطط هرتزبرونج-راسل. إن الأقزام البيضاء أشبه بالزومبي، فلا توجد أتونات متقّدة في قلوبها. وهي شديدة الكثافة، وغالبًا ما تكون في حجم كوكب الأرض لكن لها كثافة تناهز كثافة الشمس. وإذا حاولت رفع ملعقة صغيرة من مادة القزم الأبيض ستفشل، لأنها ستزن طنًا على الأقل(٢٩)[٢٩]. ورغم أنها لا تزال ساخنة، فإن جثامينها ستبرد على مدار مليارات الأعوام، غير أنها أدت مهمتها عن طريق تخصيب البيئة المحيطة بها بالعناصر الجديدة. تموت بعض الأقزام البيضاء بصورة خلّابة في انفجارات سوبر نوفا (مستعرات عظمى) عملاقة إذا حدث أن سُحبَت داخل نجوم أخرى قريبة منها. وهذه الانفجارات تكون شديدة الحرارة إلى درجة أن بمقدورها تصنيع كثير من العناصر في الجدول الدوري. ويولِّد موت الأقزام البيضاء الخلاب عن طريق الانفجار ما يعرف بالمستعرات العظمى من النوع ١a. وهذه المستعرات تنفجر كلها بدرجة الحرارة عينها، لذا لو أنك رأيت أحدها، فستعلم مقدار سطوعه، وهذا يعني أن باستطاعتك قياس المسافة الفعلية الفاصلة بينك وبينه. وتتيح المستعرات العظمى من النوع ١a للفلكيين تقدير المسافات أبعد بمئات المرّات من المتغيّرات القيفاوية.

النجوم التي تزيد كتلتها على كتلة الشمس بنحو سبعة أضعاف سوف تنتهي حياتها أيضًا في مشهد خلّاب بنوع آخر من الانفجارات، وهي تُعرف بمستعرات الانهيار

---

[٢٩] (29) King, Stars, 59 .

الذاتي، أو المستعرات العظمى من النوع الثاني. فعندما يشكّل القلب كرة من الحديد حجمها أكبر من شمسنا، سوف ينغلق الأتون المركزي للمرّة الأخيرة، وسوف تهشِّم الجاذبية القلب في كسر من الثانية وبعنف شديد، مطلقة طاقات ودرجات حرارة أعلى مما سبق للنجم إطلاقه خلال حياته، وسينفجر النجم كمستعِر أعظم وربما يطلق على نحو وجيز طاقة تعادل طاقة مجَرّة كاملة، وفي غضون دقائق قليلة، يُصنِّع النجم العديد من العناصر الباقية في الجدول الدوري وينشرها في الفضاء المحيط به. وربما يكون المثال الأشهر لمستعرات الانهيار الذاتي هو ذلك المستعر الذي يوجد في
قلب سديم السرطان. وربما ينفجر منكب الجوزاء كمستعر أعظم في أي وقت خلال المليون عام التالية.

بعد أن تطرح النجوم العملاقة الضخمة طبقاتها الخارجية بعيدًا عند انفجارها كمستعرات عظمى، ينكمش أكثرها بعنف شديد إلى درجة أن البروتونات والإلكترونات تنضغط معًا مكوِّنةً نيوترونات. والآن تنسحق الكرة الضخمة كلّها وتصير نجمًا نيوترونيًّا، وهو جرم مصنوع من نيوترونات متلاصقة معًا بإحكام يناهز ذلك الإحكام الذي تتلاصق به الجُسَيْمات داخل نواة الذرّة. هذا شكل غير معتاد وشديد الكثافة من المادّة، لأن غالبية الذرات تتألّف بالأساس من فضاءٍ خالٍ. ويمكن لنجم نيوتروني قطره عشرين كيلومترًا وحسب أن يزن ضعف وزن شمسنا، ويمكن لملعقة صغيرة من مادة النجم النيوتروني أن تزن مليار طن(٣٠)[٣٠]. وثمة بعض الأدلة على أن العديد من العناصر الأثقل في الجدول الدوري ربما لم تتكوّن في انفجارات مستعرات عظمى معتادة ولكن خلال عملية الاندماج العنيفة للنجوم النيوترونية.

تدور النجوم النيوترونية حول نفسها بسرعة، وكأنها منارات تحذيرية، وقد رُصدَت للمرة الأولى في العام ١٩٦٧ من خلال سلسلة من الومضات السريعة للطاقة. وتعرف النجوم النيوترونية الدوّارة باسم النجوم النابضة. وبعد اكتشاف أول النجوم النابضة مباشرة، رُصد نجم آخر في قلب سديم السرطان، وهو بقايا مستعر أعظم رصده الفلكيون الصينيون في العام ١٠٥٤. ويبلغ حجم نجم سديم السرطان النابض حجم مدينة ويدور حول نفسه ثلاثين مرة في الثانية الواحدة.

---

[٣٠] 30) Ibid., 66 .

أما غالبية النجوم الضخمة فتنتظرها خاتمة أخرى أغرب؛ إذ تنفجر قلوبها داخليًّا بعنف شديد إلى درجة أنّ لا شيء يستطيع مقاومة الانهيار، وتتحوّل إلى ثقوب سوداء، وهي أشد الأجرام التي نعرفها كثافة. وقد تنبأ آينشتاين بوجود الثقوب السوداء، وهي أجرام لا يستطيع شيء أن يفلت من جاذبيتها الشديدة، ولا حتى الضوء، ولهذا السبب لا نعرف الكثير عما يوجد داخلها. إن الثقوب السوداء وحوش فلكية عجيبة للغاية، لكن يوجد لدينا الآن أدلة عديدة على أنها حقيقية. لقد كانت النجوم الأولى في كوننا ضخمة على الأرجح، لذا من المرجّح أنها انهارت على نفسها وتحولت إلى ثقوب سوداء، وهذه الثقوب السوداء ربما وفّرت البذور الجذبوية التي تشكّلت حولها مجَرّات كاملة، كما تتشكّل حبات اللؤلؤ حول ذرات الرمال. واليوم، يستطيع العلماء رصد الثقوب السوداء الكبيرة الموجودة في قلوب معظم المجَرّات، بما فيها مجرّتنا. وبإمكان مجالات جاذبيتها الضخمة أن تبتلع النجوم القريبة. وبينما ينجذب النجم عبر الحدّ الخارجي للثقب الأسود (أفق الحدث الخاصّ به)، يطلق النجم كميات هائلة من الطّاقة في ما يشبه صرخة الموت. وهذه الصرخات المحتضرة تتسبّب في وجود الأجرام شديدة السطوع المعروفة بالنجوم الزائفة أو الكويزرات.

إن الحدّ الخارجي للثقب الأسود، أو أفق الحدث الخاصّ به، يعدّ نقطة اللاعودة. وهو يمثّل حدود معرفتنا، لأن قدرًا قليلًا للغاية من المعلومات يستطيع الإفلات من قبضة الثقب الأسود. فبإمكاننا تقدير كتلة الجرم الذي كوَّن الثقب الأسود علاوة على دورانه. لكن هذا كل ما في الأمر. ومع ذلك، فقد بيَّنَ ستيفن هوكينج أن التأثيرات الكمّية الدقيقة تسمح لكميات قليلة من الطّاقة بالتسرّب من الثقوب السوداء. وربما تُسَرِّب الثقوب السوداء معلومات كذلك، لكن لو كان الأمر كذلك فلا نعلم بعد كيف نقرأها.

بهذه الطرق المختلفة، أثرَت النجوم المحتضرة وخصَّبَت الكون اليافع. وبمجرّد أن تكوّنت عناصر الجدول الدوري في النجوم المحتضرة والمستعرات العظمى، فإنها تجمّعت في سحب هائلة من الغبار تقع بين النجوم، واتّحدت الذرّات كي تشكّل جُزَيْئات بسيطة، وعن طريق صورة من الاختمار كوّنت هذه الجُزَيْئات أشكالًا جديدة من المادة.

نحن نعرف الكثير عن النجوم لأن الفلكيين طوروا طرقًا لتحديد ما يحدث داخل النجوم التي تبعد عن الأرض لملايين السنوات الضوئية. وقد رأينا بالفعل مقدار

المعلومات الذي يستطيع الفلكيون استخراجه من ضوء النجوم. غير أن الضوء المرئي لا يشكّل إلا نسبة بسيطة من الطاقات التي تطلقها النجوم والمجَرّات، وتمكِّن التليسكوبات الحديثة الفلكيين من دراسة الانبعاثات على جميع تردّدات الطيف الكهرومغناطيسي، بداية من أطول الموجات الراديوية وأكثرها كسلًا وصولًا إلى أصغر أشعّة جامّا وأكثرها نشاطًا. وتمكّننا الحاسبات من معالجة كمّيات هائلة من المعلومات بدقّة عظيمة، كما تتيح التليسكوبات الفضائية، مثل تليسكوب هابل الفضائي، للفلكيين رصد الكون بعيدًا عن التشوّهات التي يسببها الغلاف الجوي للأرض. وهذه الأدوات العلمية الحديثة تخبرنا بكثير من المعلومات عن بيئتنا المجَرّية.

لعبت الأدوات الأقدم، مثل التليسكوبات الضوئية ومناظير التحليل الطيفي، دورًا مهمًّا هي الأخرى. وتخبرنا خطوط الامتصاص التي تكشف عنها مناظير التحليل الطيفي بماهية العناصر الموجودة داخل النجوم ونسبتها. أتريد أن تعرف مقدار الذهب الموجود داخل الشمس؟ وجه تليسكوبك نحو الشمس، وادرس خطوط الامتصاص الخاصة بالذهب، وقم بقياس إلى أي مدى هي داكنة، وستجد أن الذهب يشكّل أقل من جزء من التريليون من كتلة الشمس. غير أن الشمس كبيرة للغاية، إلى درجة أن استخراج كل ذلك الذهب من شأنه أن يجعلك شديد الثراء، لأنه سيجلب لك قدرًا من الذهب يفوق ذلك الموجود على كوكب الأرض.

بإمكان الفلكيين معرفة درجة حرارة سطح النجم عن طريق اللون (أو التردّد) الخاص بالضوء الذي يطلقه النجم، وبهذا نعرف أن درجة حرارة السطح يمكن أن تتراوح بين ٢٥٠٠ درجة كلفينية و٣٠٠٠٠ درجة كلفينية. وكما رأينا، فبمقدور الفلكيين حساب المقدار الإجمالي الذي يطلقه النجم من الضوء (سطوعه) عن طريق قياس السطوع الظاهري، ثم حساب بأي درجة سيكون أسطع عن مقربة. وهذان المؤشران -درجة حرارة السطح والسطوع- يمثّلان المدخلين الأساسيين لمخطط هرتزبرونج-راسل. وأخيرًا، إذا علمنا درجة سطوع النجم فيمكننا عادة تقدير كتلته. وتساعدنا أساليب مشابهة في تقدير المسافة التي تبعدها مجَرّات كاملة علاوة على أحجامها وحركتها وطاقتها.

لقد أحدثت هذه الأساليب ثورة في فهمنا للنجوم والمجَرّات في الأعوام الخمسين الماضية. وقد ساعدتنا في فهم تطوّر النجوم والمجَرّات، وكيف تتفكّك، وكيف أوجدت كوننا الغني بالعناصر الكيميائية. وقد كانت هذه هي الظروف المثالية لبناء

جُزَيْئات أكثر تعقيدًا يمكنها تكوين أنواع جديدة من الأجرام الفلكية، مثل كوكب الأرض وقمره.

الفصل الثالث : الجُزَيْئات والأقمار: المحطّة الرابعة

في الحقيقة، لا يوجد سوى الذَرّات والفراغ.
ديموقريطوس
أنت على كوكب الأرض. لا يوجد علاج لذلك.
صمويل بيكيت، Endgame

من الغبار النجمي إلى الجُزَيْئات

إلى الآن رأينا كيف أن العمليات العنيفة التي تستخدم الطاقات المتطرّفة وتوجّهها القواعد العاملة الأساسية للكون قد أوجدت المجَرّات والنجوم والعناصر الجديدة. وقد تحقّق هذا بصورة تشبه عملية النحت باستخدام منشار كهربائي، وكانت الجاذبية هي الفنان المبدع القائم على عملية النحت هذه. وعلى مقربة من النجوم وفَّر ذلك النحات بيئات جديدة صار فيها من الممكن وجود منحوتات أكثر دقة. ومن أجل فهم هذه الأنواع الجديدة من المنحوتات، نحن بحاجة إلى الانتقال من البنى فائقة الضخامة إلى البنى فائقة الصغر. وهكذا نحتاج إلى التركيز على العلاقات بين الذرّات.

يعتمد التعقيد الكيميائي على تدفّقات ضئيلة للطاقة الكهرومغناطيسية يمكنها أن تقوم على المستوى النانوي بإعادة ترتيب الذرّات المنفردة والجُزَيْئات. غير أن هذه التدفّقات الدقيقة للطاقة الحرّة لا يشيع وجودها إلا في البيئات المحمية النادرة ذات الظروف المثالية. فمن شأن درجات الحرارة المرتفعة أن تمزّق الجُزَيْئات والذرّات تمزيقًا، وبذا يصير التعقيد الكيميائي مستحيلًا داخل النجوم. غير أن التعقيد الكيميائي يتطلّب بالفعل بعضًا من الطاقة، ولذا من المستحيل أيضًا أن يوجد في منطقة ميتة من الفضاء العميق. ويبدو أن البيئة المثالية توجد على مقربة من أحد النجوم، ولكن ليس على مقربة أكثر مما ينبغي، في المناطق ذات التدفّقات المستدامة والمعتدلة من الطاقة الحرّة.

نحن البشر نشعر بالجاذبية، لكن في العالم النانوي الذي توجد فيه الذرات، ليس للجاذبية أهمية كبيرة. بل إنها لا تهتم كثيرًا لأشياء مثل البكتيريا أو بق الماء، والتي تهتم بدرجة أكبر بالشحنات الكهربائية المحلية أو التوتر السطحي للماء، على الترتيب. فعلى مستوى الجُزَيْئات، تكون الهيمنة للطاقة الكهرومغناطيسية. فهذه هي القوة التي تربط الذرات والجُزَيْئات معًا وتفرّق بينها. فالجُزَيْئات والذرّات

تتحرّك داخل عالم دبق من الخطاطيف والمجسّات والشراك والأنشوطات الكهربائية.

بدأت الكيمياء داخل سحُب الغبار المجرِّية التي صارت ممتلئة بالعناصر الجديدة. وحتى في يومنا الحالي يتألف نحو ٩٨ بالمائة من كتلة سُحُب الغبار النجمية من الهيدروجين والهليوم، ولكن تتناثر بين ذرّات الهيدروجين والهليوم ذرّات كل عناصر الجدول الدوري الأخرى. وعلى نحو مثير للارتباك، يطلق الفلكيون على كل العناصر الأثقل من الهليوم اسم المعادن. وبهذا يخبروننا بأنه مع موت المزيد والمزيد من النجوم، صار الكون أكثر معدنية. وعلى نحو مشابه، يمكننا أن نقول إن شمسنا أكثر معدنية من الأجيال الأولى من النجوم لأنها تحتوي على مزيد من المعادن.

باستطاعة مناظير التحليل الطيفي أن تخبرنا بالعناصر الموجودة في السحب المجرّية وبمقاديرها. كما أن بمقدور مناظير التحليل الطيفي أن تتعرّف على الجُزَيْئات، وهي مجموعات الذرّات التي تربطها معًا القوى الكهرومغناطيسية. وبإمكانها أن تحدّد، مثلًا، ما إذا كانت السحابة تحتوي على جُزَيْئات الماء أو الجليد أو جُزَيْئات السليكات، التي تتألّف بالأساس من السليكون والأوكسيجين وتتكوّن منها النسبة الأكبر من الغبار والصخور على كوكب الأرض. كما نعلم الآن أنه توجد جُزَيْئات بسيطة عديدة في سحب الغبار المجرّية، وأنها تحتوي على بعض الأحماض الأمينية (الوحدات البنائية للبروتينات)، الضرورية من أجل الحياة على الأرض.

إن الكيمياء هي المبحث الذي يستكشف الكيفية التي تبني بها القوة الكهرومغناطيسية الجُزَيْئات والكيفية التي تتّحد بها الذرّات وتعاود الاتحاد كي تشكّل ذلك التنوّع الكبير للموادّ في عالمنا.

مواعدات كيميائية: كيف تتّحد الذرّات

الذرّات ضئيلة الحجم. وبإمكانك حشد مليون ذرة كربون داخل النقطة التي تنتهي بها هذه العبارة. لكن إياك والظن بأن الذرات عبارة عن كرات صلبة من المادة؛ فهي تتألّف بالكامل تقريبًا من الفضاء الخاوي. فكل ذرّة فيها نواة ضئيلة في مركزها تتألف من بروتونات (موجبة الشحنة) ونيوترونات (عديمة الشحنة) تربطها معًا القوّة النووية القويّة، أما غالبية الذرة فعبارة عن فراغ. تدور حول

النواة على مسافات بعيدة سحب من الإلكترونات، بحيث يقابل كل بروتون داخل النواة إلكترونًا يدور حولها. وفي بدايات القرن العشرين وصف إرنست رذرفورد، أحد رواد الفيزياء النووية الحديثة، نواة الذرّة بأنها «ذبابة داخل كاتدرائية.»

إن الحجم الذي يوحي به وصف رذرفورد صحيح تقريبًا. غير أنه كتب هذا قبل تطوّر فيزياء الكمّ الحديثة، التي بينت أن هذا التشبيه مضلّل كذلك. فالإلكترونات شديدة الضآلة، إذ يبلغ الواحد منها ١٨٣٦/١ من كتلة البروتون. وقد بينت فيزياء الكمّ أن من المستحيل تحديد سرعتها الدقيقة أو موضعها(٣١). فبإمكاننا معرفة الموضع الذي من المحتمل وجود الإلكترون فيه، لكن يستحيل أن نعرف بالضبط أين يوجد، لأن أي محاولة لتحديد موضعه سوف تتطلّب استخدام الطاقة (تخيّل أننا سلطنا ضوءًا عليه)، والإلكترونات خفيفة للغاية لدرجة أن الطاقة المستخدمة في رصدها سوف تغيّر من سرعتها ومسارها. ولهذا السبب يصور فيزيائيو الكمّ الإلكترونات الدوّارة على ما يشبه «شبّورة الاحتمالية» التي تصير سميكة على مسافات معينة من النواة ورقيقة عند مسافات أخرى. إن شبّورة الاحتمالية تخترق معظم الكاتدرائيات الذرّية ويمكنها التسلّل إلى ما وراء جدرانها الخارجية(٣٢).

الكيمياء معنيّة بالأساس بكلٍّ من المواعدات والحروب التي تقع داخل شبّورات الاحتمالية هذه. ويحدث الكثير بالفعل؛ إذ تتكوّن الروابط وتتكسر بين البروتونات والإلكترونات، فتنتهي العلاقات القديمة، وتبدأ علاقات جديدة، وتكون النتيجة ظهور أشكال جديدة بالكامل من المادة. وما يحرّك كل هذا النشاط هي الحقيقة البسيطة القائلة بأن الإلكترونات لها شحنة سالبة تسبّب تنافر بعضها مع بعض، بينما تسبّب انجذابها إلى البروتونات موجبة الشحنة، إما في ذرّتها الأم أو في الذرات المجاورة. يدرس الكيميائيون هذه المداعبات والمنافسات علاوة على التحالفات والتوترات التي تنشأ بينما تنجذب الذرات إلى الذرات المجاورة كي تشكل جُزَيْئات تربط العديد من الذرات، أحيانًا ملايين أو مليارات منها، في بنى أكثر تعقيدًا من أكثر النجوم تعقيدًا. وكل نمط جُزَيْئي له خصائصه البازغة الخاصة به، وبذا تبدو احتمالات الكيمياء لا نهائية. ومع هذا، فإن المغازلات لها قواعدها الخاصة (التي تكون منحلّة أحيانًا مثلما يحدث في المغازلة لدى البشر)، وهذه المغازلات تحكم الكيفية التي تستطيع بها القوة الكهرومغناطيسية بناء التعقيد الكيميائي.

الإلكترونات هي اللاعب المحوري في هذه العملية. فمثل العشّاق لدى البشر، تتّسم الإلكترونات بأن يصعب التنبؤ بأفعالها، وبتقلّباتها المزاجيّة، وبانفتاحها على العروض الأفضل. وهي تدور حول البروتونات في مدارات متمايزة، كل منها مرتبط بمستوى طاقة مختلف. وكلما أمكن، تتّجه الإلكترونات نحو المدارات الأقرب إلى نواة الذرة، والتي تتطلّب القدر الأقل من الطاقة. غير أن عدد المساحات الشاغرة في كل مدار محدود، وإذا لم يتبقَ أي أماكن في المدارات الداخلية، يمكن للإلكترونات أن ترضى بمكان في أي مدار خارجي. وإذا كان ذلك المدار يمتلك العدد الصحيح من الإلكترونات، يكون الكل سعيدًا. هذا هو الموقف لدى العناصر المسماة الغازات النبيلة، كالهليوم والأرجون، والتي يمكنك العثور عليها في الجانب الأيمن من الجدول الدوري. وهي لا تتّحد مع ذرات أخرى لأنها راضية بصورة أو بأخرى عن وضعها الحالي.

لكن إذا لم تمتلئ المدارات الخارجية بالإلكترونات، يتسبّب ذلك في ارتباك ومشكلات وتوترات، ويمكن للتزاحم اللانهائي على الأماكن الذي يسببه هذا أن يفسر الكثير من العمليات الكيميائية. فبعض الإلكترونات تغادر ذراتها وتتجه نحو الذرات القريبة. وإذا فعلت هذا فإن الذرة التي تغادرها تفقد شحنة سالبة، وبذا ربما تتّحد مع ذرّة بها إلكترون إضافي كي تكون رابطة أيونية. هذه هي الكيفية التي يتكوّن بها الملح من ذرات الصوديوم، التي يكون الإلكترون الخارجي فيها مستعدًّا لترك الذرة، والكلور، الذي عادة ما يبحث عن إلكترون
زائد عن الحدِّ كي يملأ مداره الخارجي. وأحيانًا، ستشعر الإلكترونات بالارتياح حين تدور حول ذرَّتَيْن، وبذا تتشارك النواتان شحناتها في رابطة تساهمية. هذه هي الكيفية التي تتّحد بها ذرات الهيدروجين والأوكسيجين كي تشكل جُزَيْئات الماء. غير أن الجُزَيْء الذي تكوّنه يفتقر إلى التناسب، إذ تتعلّق ذرتا هيدروجين صغيرتان من أحد الجوانب بذرة أوكسيجين أكبر. وهذا الشكل العجيب يوزّع الشحنات السالبة والموجبة على نحو غير متساوٍ عبر سطح الجُزَيْء ويربك ذرات الهيدروجين، التي كثيرًا ما تنجذب إلى ذرات الأوكسيجين في الجُزَيْئات المجاورة. وذلك الانجذاب يفسر لماذا يمكن لجُزَيْئات الماء أن تلتصق معًا في قطيرات، مستفيدة من هذه الروابط الهيدروجينية الضعيفة. تلعب الروابط الهيدروجينية دورًا أساسيًّا في كيمياء الحياة لأنها قادرة على تفسير الكثير من سلوكيات الجُزَيْئات الوراثية مثل جُزَيْء الحمّض النووي. وفي الفلزات، تتصرّف الإلكترونات بصورة مختلفة

للغاية؛ إذ تتّجه حشود من الإلكترونات صوب نواة الفلز، وهذا يفسر ما تتسم به الفلزات من جودة توصيل للتيار الكهربائي، الذي في حقيقته عبارة عن تدفّقات ضخمة للإلكترونات.

الكربون، ذو البروتونات الستة في نواته، هو دون جوان هذه العلاقات الرومانسية الذرية. يمتلك الكربون في المعتاد أربعة إلكترونات في مداره الخارجي، لكنْ، ثمة مساحة تكفي ثمانية إلكترونات، وبذا يمكنك أن تجعل ذرّة الكربون سعيدة عن طريق إزالة أربعة إلكترونات من مدارها الخارجي، أو إضافة أربعة إلكترونات، أو السماح لها بالتشارك في أربعة إلكترونات مع ذرّة أخرى. يوفّر هذا العديد من الخيارات، ولهذا السبب يستطيع الكربون تكوين جُزَيْئات معقّدة فيها حلقات وسلاسل وغير ذلك من الأشكال العجيبة. وتفسّر براعة الكربون الدور الشديد الأهمية الذي يلعبه في كيمياء الحياة.

تبدو القواعد الأساسية للكيمياء كونية وشاملة. ونحن نعلم هذا لأن المناظير الطيفية تبيّن أن الكثير من الجُزَيْئات البسيطة التي نجدها على الأرض موجودة بالمِثْل في سحب الغبار النجمية. غير أن الكيمياء النجمية تبدو بسيطة نسبيًّا، فلم نرصد إلى الآن أي جُزَيْئات نجمية تضم ما يزيد على نحو مائة ذرّة. وليس هذا أمرًا مفاجئًا. فالذرّات، على أي حال، متناثرة في الفضاء، لذا من الصعب عليها التجمّع معًا. علاوة على ذلك، درجات الحرارة باردة، لذا لا يوجد قدر كبير من طاقة التنشيط المطلوبة لإدخال الذرّات في علاقات شراكة طويلة الأمد. والأمر الأكثر إدهاشًا بشأن الكيمياء النجمية هو أنها ليست قادرة فقط على توليد الجُزَيْئات البسيطة التي تكوَّنت منها الكواكب، كجُزَيْئات الماء والسليكا، وإنما قادرة أيضًا على توليد العديد من الجُزَيْئات الأساسية للحياة، كالأحماض الأمينية، التي تعَدّ الوحدات البنائية للبروتينات. وفي الواقع، نعرف الآن أن ثمة جُزَيْئات عضوية بسيطة يشيع وجودها في الكون، وذلك يزيد من احتمالية وجود الحياة في أماكن أخرى غير كوكب الأرض.

المحطّة الرابعة

من الجُزَيْئات إلى الأقمار والكواكب والمجموعات الشمسية

أوجدت الجُزَيْئات الكيميائية البسيطة التي تدور حول النجوم اليافعة الظروفَ المثالية للمحطّة التالية المتمثّلة في التعقيد المتزايد، وذلك لأنها وفّرت الوحدات

البنائية لأجرام فلكية جديدة بالكامل: الكواكب والأقمار والكويكبات. لقد كانت الأجرام الكوكبية أغنى كيميائيًّا من النجوم، وأبرد كثيرًا، وبذا وفّرت البيئات المثالية للكيمياء المعقّدة. وعلى كوكب واحد على الأقل (كوكبنا)، وربما على كواكب عديدة أخرى، أوجدت الكيمياء في نهاية المطاف الحياة.

لوقت طويل، لم يعلم البشر إلا بوجود مجموعة شمسية واحدة وحسب. لكن في العام ١٩٩٥، عثر الفلكيون على كواكب خارجية، كواكب تدور حول نجوم أخرى في مجرّتنا. وقد عثروا عليها عن طريق رصد الذبذبات الضئيلة في حركة النجوم أو التباينات الطفيفة في سطوعها بينما كانت الكواكب تعبر أمامها. ومن ذلك الحين، علمنا أن غالبية النجوم لها كواكب تدور حولها، ومن ثم يوجد عشرات المليارات من المنظومات الكوكبية من مختلف الأنواع في مجرّتنا وحدها. بحلول منتصف العام ٢٠١٦، عثر الفلكيون على أكثر من ثلاثمائة من الكواكب الخارجية. وفي العقد القادم أو العقدين، من المفترض أن تمنحنا دراسة هذه المنظومات الكوكبية فهمًا أفضل للتكوينات الأكثر شيوعًا. وقريبًا، من المفترض أن نكون قادرين على دراسة أغلفتها الجوية، وهو ما قد يعطينا مؤشّرًا عن عدد الكواكب الصالح لاستضافة الحياة. ونحن نعلم بالفعل أن العديد من الكواكب لها حجم يقارب كوكب الأرض، وأن الكثير منها يدور على مسافات مناسبة من نجومها بحيث يمكن للماء السائل أن يوجد فيها، وهو مكوِّن أساسي للحياة.

إن اكتشاف الكواكب الخارجية يخبرنا بأن المحطّة الرابعة جرى تخطّيها عدّة مرّات، كما حدث مع المحطة الثالثة، وأنه ربما جرى تخطّيها للمرة الأولى في وقت مبكر للغاية من تاريخ الكون حول نجم ربما لن نستطيع رصده مطلقًا. لكننا الآن نعرف الكثير عما يبدو عليه عبور هذه المحطّة.

إن تشكُّل المنظومات الكوكبية عمليّة فوضويّة مضطّربة، وهي نتاج جانبي لعملية تشكُّل النجوم في مناطق غنية كيميائيًّا من الفضاء. وبعد مليارات الأعوام على الانفجار العظيم، صار الفضاء النجمي مليئا بسحب من المادة تحتوي على العديد من العناصر الكيميائية المختلفة. لا يزال الهيدروجين والهليوم يشكلان ٩٨ بالمائة من هذه السحب، لكن نسبة الـ٢ بالمائة المتبقّية هي ما أحدث الفارق. وكما حدث في الكون المبكر، عملت الجاذبية على جعل هذه السحب أكثر تكتلًا. وفي منطقتنا، ربما حظيت الجاذبية ببعض العون من انفجار مستعر أعظم قريب حرّك الحوادث وسبَّب انكماش سحابة عملاقة من الغبار والغاز منذ نحو ٤,٥٦٧ مليارات عام

مضت. وقد ترك ذلك المستعر الأعظم بصمته في موادّ مشعّة مميزة تظهر في النيازك الموجودة داخل المجموعة الشمسية.

وبينما انكمشت سحابة الغبار، فإنها انقسمت إلى العديد من السُّدُم الشمسية، شكَّل واحدٌ منها شمسنا. التهمت الشمس نحو ٩٩,٩ بالمائة من كل المادة الموجودة في سحابة الغبار الخاصّة بها. لكن ما يهمنا الآن هو القدر المتبقّي، حلقات الحطام التي تدور حول الشمس الوليدة. وبينما سبّبت الجاذبية انكماش السديم الشمسي، أخذت كتلتها الدوّارة من الغاز والغبار وجُسَيْمات الجليد تدور حول نفسها أسرع وأسرع إلى أن سبّبت قوى الطرد المركزي تسطحها على نحو أشبه بعجينة البيتزا، بحيث كوّنت السطح الرفيع لمجموعتنا الشمسية الحالية. ويمكننا الآن مشاهدة هذه الأقراص الكوكبية في المناطق القريبة التي تتشكّل فيها النجوم، وبهذا نعرف أنها شديدة الشيوع.

تسبّبت عمليتان في تحويل قرص المادة الدوار إلى كواكب وأقمار وكويكبات. العملية الأولى كانت نوعًا من التصنيف الكيميائي. فقد تسبّبت الانفجارات العنيفة للجُسَيْمات المشحونة الآتية من الشمس اليافعة، والمعروفة بالرياح الشمسية، في دفع العناصر الأخفّ، كالهيدروجين والهليوم، بعيدًا عن المدارات الداخلية بحيث أوجدت منطقتين متمايزتين. مثل غالبية الكون، تألّفت المناطق الخارجية من المجموعة الشمسية اليافعة بالأساس من العنصرين البدائيين، الهيدروجين والهليوم. غير أن المناطق الداخلية، التي ستتشكّل فيها الكواكب الصخرية -عطارد والزهرة والأرض والمريخ- فقدت الكثير من الهيدروجين والهليوم بحيث صارت تمتلك نوعًا نادرًا من التنوع الكيميائي. يشكل الأوكسيجين والسليكون والألمنيوم والحديد أكثر من ٨٠ بالمائة من القشرة الأرضية، بينما تلعب عناصر مثل الكالسيوم والكربون والفسفور أدوارًا أقلّ. وعلى الأرض، يلعب الهيدروجين دورًا متواضعًا، بينما لا وجود تقريبًا للهليوم.

العملية الثانية التي شكّلت المجموعة الشمسية كانت عملية التراكم. ففي داخل المدارات المختلفة المحيطة بالشمس اليافعة، تجمّعت أجزاء من المادة معًا ببطء. في المناطق الخارجية الأكثر غازية، كانت هذه العملية هادئة نسبيًّا؛ إذ جمعت الجاذبية المادّة على صورة كواكب ضخمة غازية، كالمشتري وزحل، تألّفت بالأساس من الهيدروجين والهليوم يتخلّلها رذاذ رقيق من الغبار والجليد. لكن في المناطق الداخلية كانت عملية التراكم أكثر عنفًا وفوضوية، لأنه في هذه المناطق

كان قدر كبير من المادة صلبًا. التصقت جُزَيْئات الغبار والجليد معًا مشكلة كريات صغيرة من الصخور والجليد، اندفعت في الأرجاء مهشمةً بعضها البعض أحيانًا، وملتصقةً معًا أحيانًا أخرى بحيث تشكّل أجرامًا أكبر. وفي النهاية، ظهرت أجرام أكبر، كالنيازك والكويكبات، وفي داخل كل مدار ارتطمت هذه الأجرام بعضها ببعض أو التحمت كي تشكّل أجرامًا كبيرة بحيث استطاعت جاذبيتها اجتذاب غالبية الحطام المتبقّي. وفي النهاية، أنتجت هذه العملية الكواكب كما نراها اليوم، والتي تشغل مدارات منفصلة حول الشمس.

لا يوصل هذا الوصف إلا صورة محدودة لمقدار العنف والفوضوية التي اتّسمت بهما عملية التراكم. فبعض الأجرام كانت مداراتها تتقاطع، وهو ما تسبّب في إخراج كواكب وأقمار وليدة من مداراتها أو تهشيمها تمامًا. ربما تحرّك كوكب المشتري الوليد إلى الداخل، بحيث حطّمت جاذبيته أي كوكب في طور التشكل في المنطقة المعروفة الآن باسم حزام الكويكبات. وربما يكون ميل أورانوس ودوارنه العجيب حول محوّره ناتجًا عن اصطدام عنيف بجرم آخر ضخم. وما الأشكال المشوهة للعديد من الكويكبات إلا ندوب متخلّفة عن اصطدامات عنيفة في وقت مبكر من تاريخ المجموعة الشمسية.

استمرّت الاصطدامات لفترة طويلة، حتى في الوقت الذي استقرّت فيه المجموعة الشمسية. وفي الحقيقة، ربما تشكّل قمرنا نتيجة حدوث اصطدام بين الأرض اليافعة وكوكب وليد في حجم المريخ (ثيا) بعد نحو مائة مليون عام من مولد المجموعة الشمسية. أرسل هذا الاصطدام سحبًا ضخمة من المادة إلى مدار كوكب الأرض، حيث دارت على الأرجح مثل حلقات زحل (التي ربما تكون هي الأخرى حطام ناتج عن تهشّم أحد الأقمار) إلى أن تجمعت مُشَكِّلَةً القمر.

في غضون خمسين مليون عام، كانت مجموعتنا الشمسية قد اكتسبت شكلها الأساسي الذي هي عليه اليوم، ومنذ ذلك الوقت ظلت مستقرّة بقدر كبير. وقد تشكّلت مليارات المجموعات الشمسية في كوننا بطرق مشابهة على الأرجح، رغم ما تتّسم به من تنوّع كبير في الهيئة والترتيب. غير أن كل الأجرام الكوكبية أبرد من النجوم، وأغنى كيميائيًّا وأكثر تنوّعًا، ولهذا السبب فهي توفّر الظروف المثالية التي أتاحت بناء أشكال جديدة من التعقيد. وفي النهاية ظهرت الحياة على واحد من هذه الأجرام على الأقل، وربما على أكثر من جرم واحد.

كوكب الأرض

يقع كوكب الأرض في مجَرّة نطلق عليها درب التبانة، في ضاحية نَجمية على إحدى الأذرع الحلزونية لدرب التبانة: ذراع الجبار. ودرب التبانة واحدة من مجموعة من خمسين مجَرّة تعرف باسم غير رومانسي هو المجموعة المحلّية. وتقع المجموعة المحلّية في المناطق الخارجيّة لعنقود العذراء المجَرّي، الذي يضم نحو ألف مجَرّة. وهذا العنقود جزء من العنقود الفائق المحلّي الذي يتضمّن مئات المجموعات من المجَرّات، وسوف تستغرق مائة مليون عام وأنت تتحرّك بسرعة الضوء كي تقطعه. في العام ٢٠١٤ علمنا أن العنقود الفائق المحلّي هو جزء من إمبراطورية كونية شاسعة تضم نحو مائة ألف مجَرّة، وكي تقطعها سوف تستغرق أربعمائة مليون عام وأنت تتحرّك بسرعة الضوء. هذه الإمبراطورية تعرف باسم عنقود لانياكيا (وهي كلمة بلغة سكان هاواي المحليين معناها «السماء غير المحدودة») المجرّي الفائق. وفي الوقت الحالي، هذا هو أكبر كيان منظّم نعرف بشأنه في الكون. ونفترض أن عنقود لانياكيا يدور حول دعامة من المادّة المظلمة التي تُبقي جاذبيتها كل هذه المجَرّات معًا بينما الكون يتمدّد.

علينا الانتقال مجددًا إلى ضواحي لانياكيا، وإلى مجموعتنا المحلية، وإلى مجرتنا، وإلى ذراع الجبار، حيث نجد شمسنا وكوكب الأرض. بعد أن تكوّنت الأرض بفعل عمليّة التراكم، منحتها عمليّة نحت أخيرة بنيتها الداخلية المميزة. ويطلق الجيولوجيون على هذه العملية اسم التمايز.

ارتفعت حرارة الأرض اليافعة وانصهرت. وقد سبب ارتفاع الحرارة الاصطدامات العنيفة لعملية التراكم، ووجود العناصر المشعّة (التي أُنتجَت في انفجارات المستعرات العظمى التي وفّرت الجزء الأكبر من المادة التي تألفت منها مجموعتنا الشمسية)، وبفعل زيادة الضغط بينما نمت الأرض في الحجم. وفي النهاية، كانت الأرض اليافعة شديدة السخونة لدرجة أنها انصهرت متحوّلة إلى كتلة لزجة سائلة، وترتّبت داخلها الطبقات المختلفة وفقًا لكثافتها، وهو ما منحها البنية التي هي عليها اليوم.

غاصت العناصر الأثقل، الحديد والنيكل وبعض السليكون بالأساس، خلال الكتلة اللزجة الساخنة إلى المركز كي تشكّل اللُب المعدني للأرض. ومع دوران الأرض حول نفسها، ولَّد اللبّ مجالًا مغناطيسيًّا وقى السطح من ضرر الجُسَيْمات المشحونة للرياح الشمسية. تجمّعت الصخور الأخفّ، كالبازلت، فوق اللبّ بحيث

شكّلت طبقة ثانية، منطقة عمقها ثلاثة آلاف كيلومتر من الصخور نصف المنصهرة المختلطة بالغازات والماء والمعروفة باسم الوشاح، وهذا هو الموضع الذي تأتي منه الحمم التي تقذفها البراكين. أما الصخور الأخف، وكثير منها صخور جرانيتية، فقد طفت على السطح، حيث بردت وتصلّبت مُشَكِّلةً طبقة ثالثة: الطبقة الرقيقة المعروفة بالقشرة الأرضية، والمغطاة اليوم بالمحيطات والقارات. تحت المحيطات، يكون سُمك القشرة أحيانًا خمسة كيلومترات وحسب، لكن تحت القارات قد يصل السمك إلى خمسة عشر كيلومترًا. القشرة مثيرة للاهتمام من المنظور الكيميائي؛ ففيها يمكنك أن تجد المكوِّنات الصلبة والسائلة والغازية، وقد تعرّضت للحرارة والبرودة مرارًا بفعل البراكين والكويكبات والغازات، ووهج الشمس القاسي، والتكثيف النهائي لأول المحيطات الأرضية. وهنا وفي الوشاح، أنتجت الحرارة ودوران المعادن نحو مائتين وخمسين من المعادن الجديدة(٣٣). صعدت الغازات، كثاني أوكسيد الكربون وبخار الماء، من الوشاح عبر البراكين وشقوق السطح كي تشكّل طبقة رابعة: الغلاف الجوّي الأوّل للأرض. وقد أُثريت القشرة الأرضية والغلاف الجوّي كذلك بالغازات والماء والجُزَيْئات المعقّدة وغيرها من المعادن التي جلبتها الكويكبات والمذنبات.

أبقى اللبّ الساخن المنصهر على حيوية كوكب الأرض اليافع، إذ تسللت الطاقة من المركز إلى كل أرجاء الكوكب، مسبّبة سخونة وتحرّك الطبقات العليا بحيث أوجدت تيارات دوارة من الصخور الرخوة في الوشاح وبراكين في القشرة الخارجية. لا تزال الحرارة المنبعثة من اللُبّ تقف وراء التغيرات في المستويات العليا من كوكب الأرض. واليوم، يمكننا تتبّع الحركة على السطح باستخدام منظومات الجي بي إس، ونعلم أن الألواح القشرية على السطح تتحرّك بنفس السرعة التي تنمو بها أظافرنا، وأن أسرعها يتحرّك نحو خمسة وعشرين سنتيمترًا في العام.

يقسِّم الجيولوجيون تاريخ الأرض إلى تقسيمات فرعية، أكبرها هو الدهر. أول الدهور هو الدهر الجهنمي، وقد استمرّ على الأرض منذ تكوّنها وحتى أربعة مليارات عام مضت، حين بدأ الدهر السحيق. وإذا زرت الأرض خلال الدهر الجهنمي لوجدت كوكبًا لا يزال متأثِّرًا بالدمار الذي أحدثته عملية التراكم. وتبيّن الأخاديد والشقوق على سطح القمر والكواكب الأخرى أنه في الفترة بين ٤ و٣,٨ مليار عام مضت، كان الجزء الداخلي من المجموعة الشمسية معرّضًا لقصف

شديد من الكويكبات والأجرام الهائمة الأخرى. يعرف هذا باسم فترة القصف الثقيل المتأخّرة، وقد سبّبها على الأرجح تغيّرات في مدار المشتري وزحل، سبّبت تدافع الأجرام عشوائيًّا في أرجاء المجموعة الشمسية. واليوم، غالبية الكويكبات توجد بين المشتري والمريخ، لذا ربما تكون بقايا كوكب لم يكتب له التكوّن بسبب الجاذبية الهائلة للمشتري. نعلم حاليًّا بوجود نحو ثلاثمائة ألف كويكب، ورغم أن هذه الكويكبات صغيرة، فإن هذا مقدار كبير من المادة تُقصَف به الكواكب الداخلية(٣٤).

دراسة الأرض: مقاييس الزلازل والتأريخ الإشعاعي

رغم ما تدفعنا هوليوود إلى تصديقه، فإننا عاجزون عن أن نحفر عميقًا في باطن الأرض. إن أعمق حفرة حفرناها إلى الآن يبلغ عمقها اثني عشر كيلومترًا، وهي مسافة تعادل نحو ٠,٢ بالمائة من المسافة إلى لُب الأرض. حُفرت هذه الحفرة في شبه جُزَيْرة كولا، في أقصى شمال شرقي روسيا كجزء من بحث جيولوجي. ونحن نعرف بشأن الأجزاء الداخلية من الأرض بفضل حيلة علمية أخرى بارعة، هي للجيولوجيين أشبه بالأشعة السينية للأطباء. تولّد الزلازل هزّات تنتقل عبر الأجزاء الداخلية للأرض، وتقيس مقاييس الزلازل هذه الهزّات في أماكن مختلفة على السطح، وعن طريق مقارنة النتائج الآتية من المناطق المختلفة، يمكنك تحديد مقدار السرعة والمسافة التي قطعتها الهزة عبر الأجزاء الداخلية. كما أننا نعرف أن الأنواع المختلفة من الهزّات تنتقل بسرعات مختلفة عبر المواد المختلفة، وأن بعضها ينتقل فقط عبر الأجسام المصمتة، بينما ينتقل البعض الآخر عبر السوائل كذلك، وبهذا يمكن لتتبّع هذه الهزات بواسطة مقاييس الزلازل أن يخبرنا بالكثير عن التركيب الداخلي للأرض.

إن تحديد عمر الأرض وكذلك العديد من الأعمار الأخرى في قصة الأصل الحديثة لم يصبح ممكنًا إلا في النصف الثاني من القرن العشرين، وهو يعتمد على أساليب علمية شديدة البراعة.

أُخِذَت أولى الخطوات نحو وضع تاريخ حديث لكوكب الأرض في القرن السابع عشر. ففي ذلك الوقت أدرك بعض من رواد علم الجيولوجيا أنه قد يكون من الممكن تحديد الترتيب الذي وقعت به حوادث تاريخ

الأرض، حتى لو لم يكن لدينا فكرة عن الوقت المحدّد الذي وقعت فيه تلك الحوادث. وفي القرن السابع عشر بيَّن نيكولاس ستينو، القس الدنماركي الذي كان يعيش في إيطاليا، أنه عن طريق الدراسة الحريصة للصخور الرسوبية، يمكنك تحديد الترتيب الذي تتراصّ به طبقات الصخور المختلفة. فالصخور الرسوبية كلّها تتكوّن طبقة تلو الأخرى، وبذا نعرف أن الطبقات الأقدم هي الأدنى. وأي شيء تخلّلها من المؤكد أنه أحدث عمرًا منها.

وفي بدايات القرن التاسع عشر، بيَّن مسَّاح إنجليزي يدعى ويليام سميث أن التكوينات الصخرية الموجودة في أماكن مختلفة احتوت على مجموعات حفريات متطابقة. وقد تمثّل أحد الافتراضات المعقولة في أن الحفريات المتشابهة من المؤكد أنها أتت من الفترة الزمنية عينها، وأن بمقدورك أن تحدّد الطبقات التي تكوّنت حول العالم في الوقت نفسه. وبجمع هذه المبادئ معًا تمكن الجيولوجيون في القرن التاسع عشر من إنشاء خطٍّ زمنيٍّ نسبيٍّ لتاريخ الأرض. لا يزال هذا الخط الزمني هو الأساس الذي تستند إليه منظومات التأريخ الحديثة، وهو يبدأ بالعصر الكمبري، أول عصر تحتوي طبقاته على حفريات مرئية بالعين المجردة.

لكن لم يعلم أحد متى وقع العصر الكمبري تحديدًا، ويئس الكثيرون من الجيولوجيين من العثور على تواريخ واضحة للطبقات المختلفة. وفي العام ١٧٨٨ كتب جيمس هاتون: «لا نجد أثرًا على بداية، ولا دلالة على نهاية»(٣٥). وحتى في بدايات القرن العشرين كان السبيل الوحيد لتحديد تاريخ حاسم لأي حدث هو العثور على سجل مكتوب يذكره. وكما أوضح إتش جي ويلز حين كان يحاول كتابة قصّة أصل حديثة في أعقاب الحرب العالمية الأولى مباشرة، فإن هذا كان يعني أن الخطَّ الزمني الحاسم لا يمكن أن يمتدَّ إلى ما وراء بضعة آلاف من الأعوام في الماضي.

ورغم أن إتش جي ويلز لم يعرف بذلك، فإن بعضًا من الاكتشافات التي من شأنها في النهاية أن تمدّنا بتواريخ أفضل كانت قد تحقّقت بالفعل. كان المفتاح هو النشاط الإشعاعي، وهو شكل من الطّاقة اكتشفه هنري بيكريل في العام ١٨٩٦. ففي الذرّات ذات النوى الكبيرة، كذرّة اليورانيوم، من الممكن أن تسبّب قوى التنافر بين البروتونات الكثيرة موجبة الشحنة في زعزعة استقرار النواة بحيث تتفكّك في النهاية تلقائيًّا، وتطلق إلكترونات أو فوتونات عالية الطاقة أو حتى نوى هليوم. وبينما تُطلَق أجزاء من النواة، يتحوّل العنصر إلى عناصر أخرى مختلفة بها عدد

أقل من البروتونات. على سبيل المثال يتحوّل اليورانيوم في النهاية إلى رصاص. وفي العقد الأول من القرن العشرين أدرك إرنست رذرفورد أنه حتى إذا لم تستطع معرفة الوقت الذي ستتفكّك فيه نواة معيّنة، فإن التحلّل الإشعاعي كان عملية دورية للغاية عند أخذ متوسّطه على مستوى مليارات الجُسَيْمات. وكل نظير إشعاعي للعنصر ذاته (النظير له نفس العدد من البروتونات لكنْ له عدد مختلف من النيوترونات)، يتحلّل بمعدلات مختلفة ولكنْ دورية، وبذا من الممكن أن نحدّد بدقّة الوقت الذي سيستغرقه تحلّل نصف ذرّات أي نظير بدقّة. على سبيل المثال، عمر النصف لليورانيوم ٢٣٨ (به ٩٢ بروتونًا و١٤٦ نيوترونًا) هو ٤,٥ مليار عام، بينما عمر النصف لليورانيوم ٢٣٥ (به ٩٢ بروتونًا و١٤٣ نيوترونًا) يبلغ ٧٠٠ مليون عام.

أدرك رذرفورد أن التحلّل الإشعاعي يمكنه أن يوفّر نوعًا من الساعة الجيولوجية إذا أمكنك قياس مقدار التحلّل الذي تعرّضت له أي عينة. وفي العام ١٩٠٤ حاول رذرفورد قياس تحلّل عيّنة من اليورانيوم ووضع تقديرًا لعمر الأرض يبلغ خمسمائة مليون عام. كانت الفكرة الأساسية صحيحة، غير أن تقديره لعمر الأرض كان مثار جدل لأنه كان أكبر بكثير من العمر المتّفق عليه والبالغ مائة مليون عام.

ومع الوقت، شرع عدد متزايد من الجيولوجيين في الاتفاق على أن كوكب الأرض ربما يكون أقدم كثيرًا مما كنا نظنّ. غير أن المشكلات الفنية التي اعترت عملية قياس التحلّل الإشعاعي كانت كبيرة، ولم تُحَل إلا في أربعينيات القرن العشرين، باستخدام طرق جرى تطويرها كجزء من مشروع مانهاتن الذي صنَّع أول قنبلة ذرّية. فمن أجل صنع القنبلة، كان من الضروري فصل النظائر المختلفة لليورانيوم من أجل إنتاج عيّنات خالصة من اليورانيوم ٢٣٥. وقد ساعد الفيزيائي الأمريكي ويلارد ليبي في تطوير أساليب فصل وقياس النظائر المختلفة لليورانيوم، ولعبت هذه الأساليب دورًا حيويًّا في مهمّة قياس التحلّل الإشعاعي.

وفي العام ١٩٤٨ تمكّن فريق ويلارد ليبي من وضع تقديرات دقيقة لموادّ مأخوذة من مقبرة الفرعون زوسر، والتي قدّمها متحف المتروبوليتان(٣٦). وقد استخدم الفريق الكربون ١٤، وهو نظير مشع للكربون يبلغ عمر النصف الخاصّ به ٥٧٣٠ عامًا، وهو ما يجعله مفيدًا للغاية عند دراسة الموادّ العضوية كالخشب. نجحت الموادّ المشعّة المختلفة بدرجات متفاوتة مع المواد المختلفة. وبالنسبة إلى الجيولوجيين، كان تحلّل اليورانيوم إلى رصاص مفيدًا للغاية، وأتاحت حقيقة أن

النظائر المختلفة تتحلّل بمعدلات مختلفة فرصة التحقّق عن طريق المقارنة(٣٧). وفي العام ١٩٥٣ حدّد كلير باترسون عمر نيزك حديدي باستخدام تحلّل اليورانيوم إلى رصاص. وقد وضع افتراضًا صحيحًا مفاده أن النيازك كانت مصنوعة من المادة البدائية الآتية من المجموعة الشمسية الوليدة، وأن بمقدورها أن تعرفنا إلى عمر المجموعة الشمسية كلّها. وقد أشارت قياساته إلى أن عمر كوكب الأرض يبلغ ٤,٥ مليار عام، أي إنه أكبر بكثير من تقدير رذرفورد. ولا يزال ذلك العمر محلّ اتفاق إلى اليوم.

وإلى جانب أساليب التأريخ الإشعاعي، ظهرت عدة أساليب تأريخ أخرى يمكن استخدامها للتحقّق من صحّة بعضها البعض. فيمكن تقدير التواريخ في حدود الألفيات القريبة عن طريق إحصاء الحلقات السنوية للأشجار العتيقة مثل أشجار صنوبر بريستلكون، والتي يمكن أن تعيش لآلاف عديدة من الأعوام. ويستخدم الفلكيون أساليبهم الخاصة لتحديد تاريخ الكون، كما وجد البيولوجيين أن الحمض النووي يتطوّر بوتيرة دورية ثابتة، وبذا يمكن بشكل تقريبي تحديد الوقت الذي انفصل فيه نوعان عن سلف مشترك عن طريق قياس الاختلافات في جينوماتهما. وهذه الأساليب، المبنية على الدراسة الحريصة لعمليات مثل التحلّل الإشعاعي، علاوة على تطوير أدوات جديدة لقياسها بدقة، منحتنا الخط الزمني الذي تقوم عليه قصّة الأصل الحديثة.

إلى الآن شاهدنا التعقيد يزداد داخل كيانات مثيرة للاهتمام، لكنها ليست حيّة. والآن نصل إلى واحدة من أهم المحطّات قاطبة: ظهور الحياة. ومع ظهور الحياة، نقابل نوعًا ومستوًى جديدين بالكامل من التعقيد، وسلسلة كاملة من المفاهيم الجديدة، من بينها المعلومات والغاية، بل وفي النهاية الوعي ذاته.

الجزء الثاني : الغلاف الحيوي

الفصل الرابع : الحياة: المحطّة الخامسة

قضيت فترة ما بعد الظهيرة أتفكّر في الحياة. بالتفكير فيها، ستجد أن الحياة شيء عجيب! شيء مختلف تمامًا عما سواه، ألا تعرف، إذا كنت تدري ما أعني.

بي جي وودهاوس، My Man Jeeves

ما يقبع في قلب كل شيء حي ليس نارًا أو نفَسًا دافئًا أو «شرارة الحياة»، وإنما المعلومات والكلمات والتعليمات... وإذا أردت أن تفهم الحياة، لا تفكّر في السوائل والهلام النابض الحيّ، بل فكّر في تكنولوجيا المعلومات.

ريتشارد دوكينز، The Blind Watchmaker

الحياة والمعلومات: نوع جديد من التعقيد

ظهرت الحياة كما نعرفها من الكيمياء العجيبة الموجودة في البيئات الغنيّة بالعناصر على الأرض الوليدة منذ نحو أربعة مليارات عام. وإذا كانت الحياة موجودة في مكان آخر، فربما تبدو من الغرابة بمكان بحيث يتعذّر علينا التعرّف عليها. لكن على كوكب الأرض، الحياة مبنية من مليارات الماكينات النانوية الجُزَيْئية المعقّدة. وهي تعمل معًا داخل بِنى واقية أشبه بالفقاعات نعتبرها الوحدات البنائية للحياة؛ إذ إنها الوحدات البنيوية والوظيفية والبيولوجية الأساسيّة لكل الكائنات الحيّة المعروفة. وهذه الفقاعات المحمية تُسمى الخلايا، والكلمة الإنجليزية cells مشتقّة من الكلمة اللاتينية cella بمعنى «الغرفة الصغيرة». إن الخلايا هي أصغر وحدات الحياة التي تستطيع التكاثر بصورة مستقلة. وهي تحيا عن طريق استغلال التدفّقات الدقيقة للمغذيات والطاقة الحرّة الموجودة في البيئة المحيطة بها.

كان للحياة، ولا يزال، تأثير عظيم على كوكبنا لأن الكائنات الحيّة تصنع نسخًا من أنفسها يمكنها التكاثر والانتشار والتنوع. وعلى مدار أربعة مليارات عام غيّر جيش جبار من الكائنات الحيّة وجه الكرة الأرضيّة وخلق محيطًا حيويًّا: طبقة رقيقة على سطح الكوكب تتألّف من الكائنات الحيّة وكل شيء شكّلته هذه الكائنات الحية أو غيّرته أو تركته وراءها.

والشيء المخيف بشأن الحياة هو أنه على الرغم من أن الحيّز الداخلي لكلّ خليّة يبدو أشبه بساحة فوضوية- حلبة مصارعة طينية تتضمّن ملايين الجُزَيْئات- فإن الخلايا الكاملة تعطي انطباعًا بأنها تعمل بشكل غائي متعمَّد. فيبدو أن ثمة شيئًا

داخل كل خلية يحرّكها، كما لو أنها كانت تنفّذ بنودًا واردة في قائمة مهمات. وقائمة المهمات بسيطة: (١) البقاء على قيد الحياة رغم الإنتروبيا والبيئة المحيطة غير المتوقّعة، و(٢) إنتاج نسخ من نفسها يمكنها فعل الشيء ذاته. ويستمر الأمر من خلية إلى أخرى ومن جيل إلى آخر. وهنا، في خضم السعي وراء بعض النتائج وتجنّب نتائج أخرى، نجد أصول الرغبة، والرعاية، والغاية، والأخلاق، بل والحب. بل وربما نجد بدايات المعنى، إذا كان ذلك يعني القدرة على التمييز بين أهمية الحوادث والإشارات المختلفة. ما معنى هذا القرش الأبيض العظيم الذي يسبح خلفي؟

إن ظهور القصد (أو ربما وهم القصد) أمر جديد. فهي ليست سمة للكيانات المعقّدة الأخرى التي رأيناها إلى الآن. هل ثمة معنى في القول بأن النجوم لها هدف؟ أو الكواكب أو الصخور؟ أو حتى الكون؟ ليس حقًّا، على الأقل ليس وفق ما تذهب إليه قصّة الأصل الحديثة. لكن الكائنات الحيّة مختلفة. فهي لا تتقبّل حُكم الإنتروبيا تقبّلًا سلبيًّا، بل إنها تقاوم وتحاول التفاوض، كالأطفال العنيدين. إنها لا تبقي البنى ثابتة في أماكنها، كالبروتونات أو الإلكترونات. وهي لا تعيش على مخزونات من الطاقة، كالنجوم التي تلتهم مخزونها من البروتونات التي اختُزنت جيدًا منذ مولدها ثم تنهار حين ينفد هذا المخزون. فالكائنات الحيّة تسعى على الدوام إلى تدفّقات جديدة من الطّاقة من بيئاتها من أجل إبقاء نفسها في حالة معقّدة لكن غير مستقرّة. ليس هذا سلوك الصخور، بل هو سلوك الطيور المحلّقة. فالكائنات الحية تظلّ محلّقة (من منظور الديناميكا الحرارية) عن طريق استهلاك الطاقة الحرّة التي تحرّك الكيمياء المعقّدة التي تعيد ترتيب الذرات والجُزَيْئات في الأنماط المطلوبة من أجل البقاء على قيد الحياة. وحين تعجز الكائنات الحيّة عن دفع ضرائب التعقيد إلى الإنتروبيا فإنها تسقط.

الطاقة والحياة! أذكر حين كنت في أستراليا أنني كنت أشاهد أطفالي وهم يحوّلون طاقة شطائر الفيجيمايت إلى طاقة حركة عنيفة وهم يلعبون في الحديقة. بل وبإمكاننا قياس المعدل الذي تتدفّق به الطّاقة الحرّة (الآتية ربما من شطائر الفيجيمايت) بينما يجري تحويلها إلى طاقة حديث، وطاقة ركض، وفي النهاية إلى طاقة حرارية، مع زيادة الإنتروبيا في كل خطوة. يستهلك الإنسان العادي نحو ٢٥٠٠ سعر حراري كل يوم، أو نحو ١٠،٥ ملايين جول (مقياس للشغل أو الطّاقة، والسعر الحراري يساوي نحو ٤١٨٤ جولًا). وإذا قسّمت هذا الرقم على

عدد ثواني اليوم البالغ ٨٦٤٠٠ ثانية، ستجد أن الشخص يستهلك نحو ١٢٠ جولًا في الثانية الواحدة. هذا هو «معدل طاقة» الإنسان: ١٢٠ واطًا، أي مقدار أكبر بقليل من معدل طاقة العديد من مصابيح الإضاءة التقليدية.

تمثّل الحياة، بمحاولاتها اللانهائية مقاومة الإنتروبيا، نوعًا ومستوًى جديدين من التعقيد. وأحيانًا ما يصف مُنَظِّرو التعقيد الكيانات على هذا المستوى بأنها منظومات تكيّفية معقّدة. وخلافًا للمنظومات الفيزيائية المعقّدة التي رأيناها إلى الآن، والتي تتصرّف مكوّناتها بطرق يمكن في المعتاد التنبؤ بها من القواعد الأساسية الحاكمة للكون، فإن مكوِّنات المنظومات التكيفية المعقّدة تبدو وكأن لها إرادة منفصلة، وهي تبدو وكأنها تتبع قواعد تقليدية يصعب تبينها. وفي الواقع، تتصرّف المنظومات التكيّفيّة المعقّدة، كالبكتيريا أو كلبك أو الشركات المتعدّدة الجنسية، كما لو أن كل مكوِّن من مكوِّناتها هو فاعل له إرادة منفصلة، وبذا يتكيّف كلّ مكوِّنٍ على الدوام مع سلوك المكوِّنات الأخرى، وذلك يؤدّي إلى سلوكيات شديدة التعقيد ويستحيل التنبؤ بها.

عند استخدامي لكلمة «فاعل»، قمت باستحداث فكرة جديدة ستصير ذات أهمية متزايدة: وهي فكرة المعلومات. فعندما يستجيب الفاعل لغيره من الفاعلين، فإنه في الحقيقة يستجيب إلى المعلومات المتعلّقة بما يدور من حوله، بما في ذلك المعلومات المتعلّقة بما يفعله الفاعلون الآخرون. وإذا تخيّلنا المعلومات بوصفها شخصية في قصّة الأصل الحديثة الخاصّة بنا، علينا التفكير فيها وكأنها تعمل في السر أو متنكّرة، بحيث تتلاعب بالحوادث لكنّها تظل بعيدة عن دائرة الضوء. فالطاقة تسبّب التغيير، لذا يمكنك النظر إليها عادة باعتبارها شغلًا، أما المعلومات فتوجّه التغيير، عادة في الخفاء. وقد عبّر سيث لويد عن هذا بقوله: «إن فعل أي شيء يتطلّب طاقة، بينما تحديد ماهية ما يجري عمله يتطلّب معلومات».

والمعلومات، في صورتها الأشمل والأعم، تتألّف من القواعد التي تؤثّر على النتائج، وذلك عن طريق الحدّ من الاحتمالات. ومن أشهر تعريفات المعلومات هو أنها «اختلاف يُحدِثُ اختلافًا». إنها القواعد التي تحدّد أيّ تغيير من كلّ الخيارات المتاحة هو ممكن بالفعل وفي أي وقت ومكان بعينه، وهذا يحدث اختلافًا. فالمعلومات تبدأ بقوانين الفيزياء، نظام التشغيل الأساسي للكون. وقوانين الفيزياء توجّه التغيير نحو مسارات معيّنة، كالمسارات التي كوّنت بها الجاذبية النجوم الأول. والمعلومات وفق هذا المعنى العام للغاية تحدُّ مما هو ممكن، وبذا

فهي تقلّل من العشوائية. ولهذا السبب فإن وجود قدر أكبر من المعلومات يعني وجود قدر أقلّ من الإنتروبيا، وقدر أقلّ من احتمالية العشوائية التي تحبّها الإنتروبيا. هذه هي المعلومات الكونية الشاملة: القواعد المغروسة داخل كل شذرة من المادّة والطّاقة. لم يتعيّن على أي شخص أن يخبر الجاذبية بما عليها فعله، بل قامت بمهمتها من تلقاء نفسها.

ومع ذلك، فوفق الاستخدام الدارج للكلمة، يعني مصطلح المعلومات أكثر من مجرد القواعد؛ إذ يعني القواعد التي يقرأها شخص آخر أو فاعل أو شيء، في الحقيقة، أي منظومة تكيّفية معقّدة. وهذا النوع من المعلومات ينشأ لأن العديد من القواعد المهمّة ليس شاملًا. فالمعلومات، مثل قوانين المجتمعات البشرية، تتغير من مكان إلى آخر ومن لحظة إلى أخرى. وبينما يتطوّر الكون، ظهرت بيئات جديدة، كالفضاء العميق وسحب الغبار المجرّية وأسطح الكواكب الصخريّة. وقد كان لهذه البيئات قواعدها الخاصّة بها التي لم تكن كونية. يجب قراءة القواعد المحلّية أو تشفيرها أو دراستها، تمامًا مثلما يتعيّن عليك أن تعرف إلى أي جانب يقود السائقون قبل أن تذهب لزيارة منغوليا (الجانب الأيمن بالمناسبة).

ليس باستطاعة المنظومات التكيفية المعقّدة أن تحيا إلا في بيئات محدّدة بشكل واضح، ولهذا فهي بحاجة إلى أن تكون قادرة على قراءة أو تشفير المعلومات المحلّية علاوة على القواعد الكونية الشاملة، وهذا أمر جديد. فكلّ صور الحياة تتطلّب آليات لتفسير المعلومات المحلّية (مثل وجود موادّ كيميائيّة مختلفة أو درجات حرارة أو مستويات حمضيّة محلّية معيّنة) وذلك حتى تستجيب على النحو الملائم (هل عليَّ أن أحتضنه أم آكله أم أهرب منه؟). وعن هذا كتب الفيلسوف دانيال بينيت: «الحيوانات ليست آكلة للعشب أو آكلة للحوم وحسب، بل هي... مستهلكة للمعلومات». وفي الحقيقة، كل الكائنات الحيّة مستهلكة للمعلومات. والآليات التي تستخدمها في قراءة المعلومات المحلّية والاستجابة إليها -سواء أكانت الأعين أو المجسّات أو العضلات أو الأدمغة- تفسّر قدرًا كبيرًا من تعقيد الكائنات الحيّة.

إن البيئات المحليّة غير مستقرة، لذا يجب على الكائنات الحيّة أن تراقب بيئاتها الداخلية والخارجية باستمرار من أجل رصد أي تغييرات مهمة. وبينما تزداد الكائنات تعقيدًا، فإنها تحتاج إلى مزيد ومزيد من المعلومات، لأن البنى الأكثر تعقيدًا تمتلك المزيد من الأجزاء المتحرّكة والمزيد من الروابط بين أجزائها. إن

بكتيريا الإشريكية القولونية، التي تعيش في أمعائك بينما تقرأ هذه الكلمات، تخصّص نحو ٥ بالمائة من مواردها الجُزَيْئية للحركة والإدراك، لكن في جسدك، غالبية الأعضاء مكرّسة بنحو مباشر أو غير مباشر للإدراك أو الحركة، من الأدمغة إلى العينين إلى الأنسجة العصبيّة والعضلات. ويقع العلم الحديث في أقصى طرف نطاق منظومات جمع المعلومات وتحليلها التي تبدأ بالمستشعرات البسيطة لأولى الكائنات الحيّة وحيدة الخلية.

تُبقي الإنتروبيا، بطبيعة الحال، عينًا متيقظة على كل هذا. فإذا كان المزيد من التعقيد يعني المزيد من المعلومات، فإن المزيد من التعقيد والمعلومات يقلّل من الإنتروبيا وما يصاحبها من عدم يقين أو عشوائية. وستلاحظ الإنتروبيا ذلك. فالإنتروبيا تحب فكرة ضرائب التعقيد والرسوم التي يمكنها فرضها مع زيادة التعقيد والمعلومات. وفي الواقع، ذهب البعض إلى أن الإنتروبيا في الواقع تحبّ فكرة الحياة (وربما تشجّعها على الظهور في أجزاء عديدة من الكون)، لأن وجود الحياة يقلّل من الطاقة الحرة مقارنة بعدم وجودها.

إن تفسير نشأة الحياة على الأرض ومحاولة تبيّن ما إذا كان ثمة شيء مشابه قد ظهر في موضع آخر من الكون يعدّ من أصعب المشكلات التي تواجه العلم الحديث. وفي الوقت الحالي نحن نعرف أن الحياة موجودة على كوكب واحد فقط. ويبحث متخصّصو البيولوجيا الفلكية عن الحياة في أماكن أخرى بواسطة برنامج البحث عن ذكاء خارج الأرض، الذي بدأ في العام ١٩٦٠، لكن إلى الآن لم يعثروا على شيء. وحاليًّا، نحن نقتصر على دراسة أصل الحياة على كوكب الأرض. وحتى ذلك الأمر شديد الصعوبة، لأنه قد يعني محاولة تحديد ما كان يحدث على كوكبنا منذ نحو أربعة مليارات عام، حين كانت الأرض مختلفة بشدة عما هي عليه اليوم.

تعريف الحياة

إن امتلاك عيّنة واحدة وحسب يجعل من الصعب معرفة ماهية الحياة. فما الذي يميّز الحياة عن الجماد؟ يصعب تعريف الحياة بنفس القدر الذي يصعبفيه تحديد التعقيد أو المعلومات، ويبدو أن ثمّة منطقة حدودية مبهمة بين الحياة والجماد.

ومن شأن غالبية تعريفات الحياة على الأرض أن تتضمّن السمّات الخمس التالية:

١. تتكوّن الكائنات الحيّة من خلايا تحيط بها أغشية شبه مُنفِذة.

٢. تقوم الكائنات الحيّة بعملية الأيض، وهي عبارة عن آليات تتّصل بتدفّقات الطّاقة الحرّة الآتية من البيئة المحيطة بها وتستخدمها حتى تتمكّن من إعادة ترتيب الذرّات والجُزَيْئات داخل البنى المعقّدة والديناميكية التي تحتاجها الكائنات كي تظلّ على قيد الحياة.
٣. باستطاعة الكائنات الحية التكيّف مع البيئات المتغيّرة عن طريق عملية التكيّف، باستخدام المعلومات المتعلّقة ببيئاتها الداخلية والخارجية والآليات التي تمكّنها من الاستجابة.
٤. باستطاعة الكائنات الحيّة التكاثر عن طريق استخدام المعلومات الوراثية في صنع نسخ طبق الأصل من أنفسها.
٥. غير أن هذه النسخ تختلف بطرق دقيقة عن آبائها، وبهذا تتغيّر على مدار أجيال عديدة سمات الكائنات الحيّة ببطء بينما تتطوّر وتتكيّف مع البيئات المتغيّرة.
ولنتناول كل سمة من هذه السّمات بالنقاش.

تتكوّن جميع الكائنات الحيّة على الأرض من خلايا، وكل خليّة تضم ملايين الجُزَيْئات المعقّدة التي تتفاعل في ما بينها مرّات عديدة في الثانية الواحدة، بينما تشقّ طريقها عبر كتلة طينية كيميائية مالحة مليئة بالبروتينات داخل الحيّز اللزج المعروف بالسيتوبلازم. يُحاط السيتوبلازم بنوع من السور الكيميائي، غشاء الخلية، الذي يتحكّم في ما يدخل الخليّة وما يخرج منها. ومثل أسوار مدينة قروسطية، للغشاء بوابات وحرّاس يقرّرون أي الجُزَيْئات المسافرة يمكنه الدخول ومتى. إن الخلايا عبارة عن مدن بحق. وفي كتاب عن الخلايا كتب بيتر هوفمان: توجد مكتبة (النواة، التي تحتوي على المادة الوراثية)، ومصانع طاقة (الميتوكوندريا)، وطرق سريعة (الأُنَيبوبات الميكروية وأغشية الأكتين)، وشاحنات (الكينسين والداينين)، وحاويات قمامة (الليسوسومات)، وأسوار مدينة (الأغشية)، ومكاتب بريد (جهاز جولجي)، وغير ذلك من البِنى التي تؤدّي وظائف حيوية. وكل هذه الوظائف يجري تأديتها عن طريق ماكينات جُزَيْئية.

تعتمد الكائنات الحيّة كافة على تدفّقات مدارة بحرص من الطّاقة الحرّة. وإذا توقّف التدفّق، تموت الكائنات، وكأنها مدينة حوصرت حتى الموت جوعًا. لكن إذا كانت التدفّقات أعنف مما ينبغي، فإنها تموت بالمثل، وكأنها مدينة تعرضت إلى قصف جوي. وهكذا تحتاج تدفّقات الطاقة إلى إدارتها بحساسية عظيمة. عادة ما تمتصّ الخلايا الطّاقة وتستخدمها بكمّيات بسيطة، إلكترون تلو الآخر وبروتون

تلو الآخر. ورغم أن هذه التدفّقات ضئيلة إلى درجة تجعلها غير مسببة للإزعاج، فإنها كبيرة بما يكفي بحيث توفّر طاقة التنشيط المطلوبة لتحريك الكثير من العمليات الكيميائية المثيرة للاهتمام. من المنظور الاشتقاقي للكلمة، تأتي كلمة الأيض، metabolism بالإنجليزية، من كلمة بمعنى «التغيير». وهذا يذكّرنا بأن الخلايا لا تظلّ ساكنة مطلقًا. فمثل الطيور المحلّقة على الدوام، تستخدم الخلايا تدفّقات الطاقة الحرّة كي تواصل التكيّف مع البيئات دائمة التغيّر.

يجب على الكائنات الحيّة أن تواصل مراقبة التغيرات الحادثة في بيئاتها والتكيّف معها. وهذا التكيّف المتواصل يعرف باسم الحفاظ على الاستتباب، أو الاستقرار الداخلي. ومن أجل الحفاظ على نوع من التوازن داخل البيئات المتغيّرة، يجب على الخليّة أن تحصل على المعلومات المتعلّقة ببيئتيها الداخليّة والخارجيّة، وأن تستوعبهما وتفك شفرتهما، ثم تقرّر الاستجابة المُثلى، ث تنفّذها. إن كلمة الاستتباب بالإنجليزية، homeostasis تعني «البقاء ساكنًا»، وهو نقيض «التغيّر». غير أن الأمر يصير مفهومًا إذا فكّرت في مفهوم البقاء ساكنًا داخل الإعصار الجُزَيْئي اللانهائي الذي يحيط بالخليّة.

رغم أن هذه القدرات مثيرة للإعجاب، فإنها لن تهمّ كثيرًا إذا ظهرت الكائنات الحيّة ثم اختفت وكأنها رذاذ على موجة محيط. وربما يكون هذا ما حدث بالفعل على سطح بعض الكواكب التي تدور حول بعض النجوم، بل وربما يكون قد حدث في تاريخ كوكب الأرض. لكن في وقتنا الحالي على كوكب الأرض، لا تكتفي الكائنات الحيّة بالوقوف ساكنة في مواجهة إعصار التغيير والإنتروبيا، بل هي تصنع نُسخًا من نفسها، وبذلك حين تسقط خلية ما (وفي النهاية ستسقط كلّها)، يمكن لغيرها أن يحلّ محلّها. إن التكاثر هو القدرة على صنع نسخ قادرة على العيش من الخلية. ويعني التكاثر أن القالب الذي يُصنَع الكائن وفقه (أو الجينوم إذا استخدمنا المصطلح الحديث) يمكنه البقاء حتى بعد وفاة الفرد. فمثل كتيب التعليمات، يخزّن الجينوم المعلومات المتعلّقة بالبروتينات المطلوبة لبناء نسخة من الوالد، علاوة على بعض قواعد التجميع الأساسية.

واليوم، غالبية هذه المعلومات مخزّنة في جُزَيْئات الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسيجين، الـ«دي إن آيه» DNA، لكن في وقت مبكر من تاريخ الحياة على الأرض كانت هذه المعلومات مخزّنة على الأرجح داخل الحمّض النووي

الريبوزي، «آر إن آيه» RNA، وهو جُزَيْء قريب الشبه بالـ«دي إن آيه»، ولا يزال يؤدّي الكثير من المهمات الشاقّة داخل الخلايا.

ورغم أن القوالب خالدة بصورة أو بأخرى، فإن عملية النَّسْخ ليست مثالية. وهذا نبأ طيّب، لأنه يعني أن بمقدور القوالب أن تتغيّر ببطء كنتيجة لأخطار النّسخ البسيطة، وهذا هو مفتاح التكيّف والتطوّر. إن التغيّرات الوراثيّة الضئيلة تمنح الحياة مرونتها الاستثنائية، لأنها تتيح للأنواع التكيّف مع بيئاتها عن طريق إنشاء قوالب مختلفة اختلافًا طفيفًا بصورة عشوائيّة. ومع تغيّر البيئات، تتغيّر بالمثل القواعد التي تحدّد أيَّ القوالب ستظلّ باقية وأيها سيفنى.

هذه هي الآلية التي وصفها تشارلز داروين بالانتخاب الطبيعي. والانتخاب الطبيعي فكرة أساسية في علم الأحياء الحديث لأنه محرّك قويّ للغاية للمزيد من التعقيد. إن الانتخاب الطبيعي يرشّح بعض الاحتمالات الوراثيّة، بحيث يسمح فقط بتلك المتوافقة مع القواعد المحلّية. وبهذا يعمل الانتخاب الطبيعي عمل السقّاطة، مثل قوانين الفيزياء الأساسية، لأنه يثبت الأنماط غير العشوائية في أماكنها. لكن في العالم البيولوجي فإن القواعد المحلّية للبيئات المحدّدة، وليس القواعد الكونية الشاملة للفيزياء، تحدّد ما يكتب له البقاء على قيد الحياة. والقواعد البيولوجية شديدة التدقيق. فلا تتوقّع أن تظلّ الزرافة حيّة وهي تحت الماء.

فمثل الآليات التي ولّدت أولى البنى الكونية، يربط الانتخاب الطبيعي بين الحتميّة والصدفة. إن التنوّع يوفّر احتمالات عديدة، ويستخدم الانتخاب الطبيعي القواعد المحلية كي ينتقي تلك الاحتمالات التي ستصلح للعمل في ظل الظروف المحلية.

وها هي الكيفية التي عبر بها تشارلز داروين عن الأمر في كتابه The Origin of Species «أصل الأنواع»:

أيمكن ... أن يكون من غير المرجّح [أن] الاختلافات المفيدة بصورة ما لكل كائن في المعركة العظيمة والمعقّدة للحياة، ينبغي أحيانًا أن تحدث على مدار آلاف الأجيال؟ وإذا حدثت بالفعل، أيمكن أن نشكّ (متذكّرين أنه يولَد من الأفراد عدد أكبر بكثير ممن يستطيعون البقاء). إن الأفراد الذين يمتلكون أي مزية، مهما كانت بسيطة، على غيرهم، من شأنهم أن يمتلكوا الفرصة الأفضل في البقاء وفي تناسل نوعهم؟ من الناحية الأخرى، ربما نشعر باليقين من أن أيّ اختلاف مؤذٍ بأقلّ درجة سيتمّ تدميره بصرامة. وهذا الحفظ للاختلافات المواتية والرفض للاختلافات المؤذية، أسميه الانتخاب الطبيعي.

تفسر فكرة داروين، عند ربطها بفهمنا الحديث للجينات والوراثة، إبداع الحياة، وقدرتها على أن تستكشف عبر أجيال عديدة الاحتمالات المختلفة، وأن تستغل تدفقات الطاقة الجديدة، وأن تبني أنواعًا جديدة من البنى. وهي تفسّر كيفية ظهور بنى فائقة التعقيد، في العالم البيولوجي، عن طريق عمليات خوارزمية متكرّرة بينما تجري فلترتها من مجموعة عديدة من الاختلافات، خطوة بخطوة وجيل بجيل، على مدار ملايين أو مليارات الأعوام.

إن فكرة الانتخاب الطبيعي سبّبت صدمة لدى معاصري داروين، لأنها بدت وكأنها تلغي الحاجة إلى وجود خالق، وتلك فكرة أساسيّة لقصّة الأصل المسيحية التي تقبَّلها معظم الناس في إنجلترا الفيكتورية. حتى داروين ذاته ساوره القلق، وكانت زوجته إيما تخشى أنها وداروين سينتهي بهما المطاف في مكانين مختلفين في الحياة الآخرة. غير أن الآلية التي وصفها داروين تبدو بالفعل جوهرية في تاريخ الحياة. دع الشرشوريات تتكاثر على واحدة من جزر جالاباجوس التي زارها داروين في شبابه. إذا كانت أشجار هذه الجُزَيْرة تنتج جوزًا له قشرة صلبة، فمع الوقت وحدها تلك الشرشوريات التي لها مناقير تستطيع كسر قشرة الجوز بكفاءة ستحيا أفضل وتلد صغارًا أكثر من غيرها. وإذا انتظرت بضعة أجيال، ستجد أن كل الشرشوريات على الجُزَيْرة لها هذا النوع من المناقير. ومع الوقت، بينما يجري انتخاب بعض الأفراد من جانب «الطبيعة» (في الحقيقة، من جانب قوانين البيئة المحليّة)، سيظهر نوعٌ جديدٌ لا محالة. وهنا، كما بيَّن داروين، تكمن الآلية الأساسية للتطور البيولوجي. هذه هي سقاطة التعقيد الخاصة بداروين، وهذه هي الكيفية التي تبني بها الحياة المزيد والمزيد من الأشياء المعقّدة، خطوة بخطوة.

الظروف المثالية للحياة

كيف بدأت الحياة في موضع ما داخل البيئات المثالية الغنيّة والمتنوّعة على سطح كوكب الأرض اليافع؟.

ما لم يعرفه داروين هو أنّ ثمّة آليات مشابهة للانتخاب الطبيعي -يجري فيها ترشيح التغيّرات العشوائية بواسطة القواعد المحلية- يمكنها العمل أيضًا بطرق بسيطة مرتجلة داخل عالم خالٍ من الحياة. فأينما وُجدت أخلاط كيميائية معقّدة وقدر وفير من الطاقة الحرة، من الممكن أن تظهر جُزَيْئات تشجّع على تكوين جُزَيْئات أخرى، وفي النهاية تنتج الجُزَيْئات التي بدأ بها التفاعل في المقام الأول.

إنها دائرة ذاتية التحفيز، تفاعل تتيح مكوِّناته، أو تحفِّز، إنتاج مكوِّنات أخرى للدائرة، بما فيها مكوِّناته الأساسية، وذلك حتى تكرّر الدائرة نفسها مجدّدًا. وإذا بدأت واحدة من هذه الدورات، فستنتج مكوِّناتها بكميات أكبر وأكبر بينما تستخلص المزيد والمزيد من طاقة الغذاء إلى أن تبدأ في تجويع التفاعلات الأخرى الأقل نجاحًا. بل وربما تعدّل الدورة من نفسها بدرجة طفيفة إذا ظهرت أنواع جديدة من الغذاء. يبدو هذا وكأنه عمليّة بقاء لأكثر التفاعلات الكيميائية نجاحًا. وهكذا لدينا هنا شيء شبيه بدرجة ما بالحياة، شيء يمكنه المثابرة والتكاثر عن طريق استغلال الطاقة الموجودة في محيطه. وعن هذا كتب دانيال بينيت: «قبل أن يكون لدينا كائنات متكاثرة ناجحة، يجب أن يكون لدينا كائنات مثابرة ناجحة، بِنى بها قدرٌ كافٍ من الاستقرار بحيث تظلّ باقية لوقت كافٍ حتى تقوم بالتنقيحات». وسوف تساعدنا فكرة التطوّر الكيميائي هذه على أن نفسّر، على الأقلّ بصورة عامّة، كيف ظهرت الشروط المسبقة للحياة على كوكب الأرض اليافع.

لا يمكن أن يحدث التطوّر الكيميائي إلا في البيئات التي تسمح بوجود عملية تجريب كيميائي ثرية. وهذه البيئات شديدة الندرة. إذًا ما هي الظروف المثاليّة للتجريب الكيميائي؟ ولماذا امتلك كوكب الأرض اليافع الكثير منها؟

أولًا، تقع مجموعتنا الشمسية في الجزء الصحيح تمامًا من مجَرّة درب التبانة. فالنجوم في النطاقات الخارجية من المجَرّة تمتلك سحبًا فقيرة كيميائيًّا من الموادّ الكيميائية كي تعمل بها، بينما النجوم القريبة للغاية من مركز المجَرّة تتعرّض إلى الصدمات الناتجة عن الانفجارات العنيفة للثقوب السوداء التي تقبع في قلب المجَرّة. أما مجموعتنا الشمسية فتقع في المكان المناسب تمامًا؛ فيقع مدارها على بُعد نحو ثلثي المسافة إلى مركز مجَرّة درب التبانة، في منتصف «المنطقة القابلة للحياة» بمجرتنا.

ثانيًا، تعمل العمليات الكيميائية بنجاح عند درجات حرارة أكثر انخفاضًا فقط. كان الكون المبكر ساخنًا للغاية إلى درجة منعت الذرّات من الاتحاد لتكوين جُزَيْئات، والأمر عينه ينطبق على الأجزاء الداخلية للنجوم، أما العمليات الكيميائية الثريّة فلا تكون ممكنة إلا داخل نطاق ضيّق من درجات الحرارة المنخفضة بدرجة ما، ويمكن العثور على هذه الدرجات المنخفضة في المناطق القابلة للحياة على مقربة من النجوم، لكن ليس أقرب مما ينبغي. إن مدار كوكب الأرض يقع في منتصف المنطقة القابلة للحياة الخاصّة بالشمس. أما كوكبا الزهرة والمريخ

فيقعان عند الحد الداخلي والخارجي لهذه المنطقة على الترتيب. لكننا نعلم الآن أن بعض الأقمار البعيدة عن الشمس، مثل قمر زحل إنسيلادوس، ربما يمتلك أتونًا داخليًّا وعمليات كيميائية تجعله قابلًا لاستضافة الحياة. وفي العام ٢٠١٧ وجد العلماء أن محيطات القمر إنسيلادوس تنتج الهيدروجين، ذلك الغاز الذي وفّر الغذاء لبعض من أول الكائنات على كوكب الأرض.

ثالث الظروف المثاليّة المطلوبة لوجود عمليّات كيميائية غنية هو وجود السوائل. ففي الغازات، تتحرّك الذرات بسرعة وكأنها أطفال مصابون بفرط النشاط، لذا من الصعب إبقائها ساكنة بما يكفي كي تترابط مع غيرها من الذرّات. أما في الموادّ الصلبة فلدينا مشكلة معاكسة: إذ تظلّ الذرّات حبيسة أماكنها. غير أن السوائل تشبه ساحات الرقص، والماء السائل، بما فيه من روابط هيدروجينية، يعد أفضل ساحات الرقص على الإطلاق.

فبإمكان الذرّات أن تتحرّك بحرّية وأن ترقص الفالس والتانجو، وليس من الصعب على الإلكترونات أن تغيّر شركاءها في الرقص إذا وجدت شريكًا آخر أكثر جاذبية. إن وجود السوائل يعتمد على الكيمياء ودرجة الحرارة والضغط، فثمّة نطاق محدود من درجات الحرارة يمكن أن يوجدفيه الماء في حالة سائلة (غالبية الماء الموجود في الكون على صورة جليد)، لكن عند درجات الحرارة هذه يمكنك أيضًا العثور على الغازات والجوامد، وهذا يتيح إمكانيّات كيميائيّة شديدة الإثارة. وهكذا لنا أن نتوقّع وجود أكثر العمليات الكيميائية إثارة للاهتمام على الكواكب، التي تقع متوسّطات درجة الحرارة بها بين صفر ومائة درجة مئوية، أي بين نقطتي تجمّد وغليان الماء على الترتيب. هذا أمر نادر الوجود، لكن يتصادف أن يوجد كوكب الأرض على المسافة المثالية من الشمس بحيث يمتلك الماء السائل.

ثمّة ظرف رابع من الظروف المثالية اللازمة لوجود عمليات كيميائية ثرية وهو التنوّع الكيميائي. فلا جدوى من امتلاك درجات الحرارة المناسبة إذا كان كلّ ما لديك هو الهيدروجين والهليوم. واليوم، حتى في المناطق الغنية كيميائيًّا داخل مجرتنا، لا يزال الهيدروجين والهليوم يشكلان ٩٨ بالمائة من المادّة الذرّية كلّها. وما تحتاجه الكيمياء هو تلك البيئات النادرة التي تكون فيها عناصر الجدول الدوري الأخرى أكثر شيوعًا. وفي مجموعتنا الشمسية، لا يمكن العثور على مثل هذا التنوع إلا على الكواكب الصخرية القريبة من الشمس، لأن الشمس الوليدة

دفعت الكثير من الهيدروجين والهليوم بعيدًا عن المدارات الداخلية للمجموعة الشمسية، تاركةً بقايا مركّزة من جميع العناصر الكيميائية في الجدول الدوري.

وبمجرد أن تكوّنت الأرض الوليدة، أنتجت المواد الكيميائية السائلة المتنوّعة الموجودة بها كتلًا من الصخور، وهي جوامد تتألّف من العديد من الجُزَيْئات البسيطة المختلفة المختلطة معًا. كما ظهرت أولى الأملاح المعدنية الأرضية كذلك، على الأرجح في صورة بلورات مثل الجرافيت أو الألماس.

في هذه البيئة الثريّة كيميائيًّا، يمكن للعديد من الجُزَيْئات البسيطة التي تُبنى منها الحياة أن تتكوّن تلقائيًّا. نحن نتحدّث عن جُزَيْئات بسيطة، بها أقل من مائة ذرّة، من بينها الأحماض الأمينية التي تتألّف منها جميع البروتينات، والنيوكليوتيدات التي تتكوّن منها المادة الوراثية، والكربوهيدرات أو السكريات التي تُستخدَم عادة مثل البطاريات في تخزين الطاقة، والشحوم الفسفورية التي تُصنَع منها الأغشية الخلوية. واليوم، لا تنشأ هذه الجُزَيْئات تلقائيًّا لأن الأوكسيجين الموجود في الغلاف الجوّي من شأنه أن يمزّقها إربًا. لكن لم يكن ثمّة وجود للأوكسيجين في الغلاف الجوي للأرض المبكرة، وبذا أمكن لهذه الجُزَيْئات البسيطة أن تتكوّن عند منحها بضع دفعات قليلة من طاقة التنشيط.

في العام ١٩٥٢، وفي محاولة لإثبات هذا الأمر، ابتكر طالب دراسات عليا شاب في جامعة شيكاجو يدعى ستانلي ميلر نموذجًا معمليًّا للغلاف الجوي للأرض المبكرة، وذلك عن طريق وضع الماء والأمونيا والميثان والهيدروجين في منظومة مغلقة من القوارير والأنابيب. بعد ذلك قام بتسخين الخليط وأطلق فيه بعض الشحنات الكهربية (المكافئ المعملي للبراكين والعواصف الكهربية) كي يوفّر طاقة التنشيط. وفي غضون أيام قلائل، وجد ميلر لطخة وردية من الأحماض الأمينية. نحن نعرف الآن أن بوسع جُزَيْئات عضوية بسيطة أخرى، منها الشحوم الفوسفورية، أن تتكوّن في مثل هذه البيئة. وإلى اليوم لا تزال نتائج ميلر صامدة، رغم أننا نعرف أن الغلاف الجوي المبكر لم يهيمن عليه الميثان والهيدروجين وإنما بخار الماء وثاني أوكسيد الكربون والنيتروجين.

ومنذ ذلك الحين عرفنا أن الكثير من هذه الجُزَيْئات يمكن أن يتكوّن حتى في بيئات الفضاء النجمي التي تعد أقل ملاءمة من الناحية الكيميائية، وهكذا فربما وصل العديد من الجُزَيْئات العضوية جاهزًا إلى الأرض، داخل المذنّبات أو الكويكبات. على سبيل المثال، احتوى نيزك مورشيسون، الذي سقط على الأرض

بالقرب من مورشيسون بأستراليا في العام ١٩٦٩، على أحماض أمينية، والعديد من القواعد الكيميائية التي نجدها في الـ«دي إن آيه». مثل هذه النيازك كانت أكثر شيوعًا بكثير في وقت مبكر من تاريخ الأرض مقارنة بوقتنا الحالي، وهذا يشير إلى أن الأرض المبكرة كانت تحمل بالفعل الكثير من المادة الخام للحياة وكانت قادرة بدرجة كبيرة على تصنيع المزيد منها.

غير أن غالبية الجُزَيْئات الموجودة داخل الخلايا، كالبروتينات أو الأحماض الأمينية، أكثر تعقيدًا بكثير من هذه الجُزَيْئات البسيطة، وهي تتألّف من بوليمرات، أي سلاسل طويلة هشّة من الجُزَيْئات، وليست عملية تكوين البوليمرات بالأمر اليسير؛ فأنت بحاجة إلى القدر المناسب وحسب من طاقة التنشيط، وإلى البيئات التي تستطيع تحفيز الجُزَيْئات على الارتباط معًا بالطريقة الصحيحة. وعلى الأرض المبكرة، يمكن العثور على واحدة من البيئات التي ربما وفّرت الظروف المناسبة لنسج البوليمرات معًا في الشقوق المحيطية، التي تندفع منها المادة الساخنة من باطن الأرض إلى قاع المحيط. كانت هذه البيئات محميّة من الإشعاع الشمسي ومن القصف العنيف الذي تعرّض له سطح الأرض، كما أنها احتوت على عناصر كيميائيّة متنوّعة، وكثير من المياه، وتدرّجات للحرارة والحمضية، بينما تسرّبت الحمم الغنية كيميائيًّا إلى مياه المحيط الباردة. وتعدّ الشقوق القلوية، التي اكتُشفَت مؤخّرًا وحسب، في العام ٢٠٠٠، بيئات واعدة بقوة، وتوفّر الصخور المسامية التي تشكّل هذه الشقوق ملاذات محمية للتجريب الكيميائي، على نحو مشابه لقوارير وأنابيب تجربة ميلر. بل ويمكنك العثور على أسطح شبيهة بالطمي فيها بنى جُزَيْئية منتظمة يمكنها بناء قوالب فيزيائية أو كهربية يمكن اجتذاب الذرات إليها ووضعها في أنماط ثابتة إلى أن تكوّن سلاسل شبيهة بالبوليمرات.

من الكيمياء الغنيّة إلى الحياة: السلف الشامل الأخير

ظهرت الحياة في وقت مبكر من تاريخ كوكب الأرض، وهذا يشير إلى أن بناء صور بسيطة من الحياة ربما لم يكن صعبًا للغاية في المواضع التي توافرت فيها الظروف المثاليّة الصّحيحة. غير أن التّحديد الدقيق للوقت الذي ظهرت فيه الحياة أمر صعب لأن أولى الكائنات الحية عاشت منذ أكثر من ثلاثة مليارات عام، ولأنها كانت ميكروسكوبية، ولأن الصخور التي دُفنَت هذه الكائنات فيها تآكلت واختفت. وفي الوقت الحالي، تتكوّن أفضل الأدلّة المباشرة على أولى صور الحياة

على الأرض من الحفريات الميكروسكوبية، التي عثر عليها في منطقة بيلبارا النائية غرب أستراليا في العام ٢٠١٢. تبدو هذه الحفريات لبكتيريا عاشت منذ نحو ٣,٤ مليارات عام مضت. وفي سبتمبر ٢٠١٦، وصف مقال في دورية نيتشر حفريات تبلغ من العمر ٣,٧ مليارات عام لستروماتوليت شبيهة بالمرجان عُثر عليها في جرينلاند. وإذا كانت هذه الحفريات كما يظنّ الكثيرون حقًّا، فلا بد أن الحياة بدأت في التطوّر قبل ملايين الأعوام مما كنا نظن مسبقًا، ومن المؤكد أنها ظهرت في أعقاب نهاية فترة القصف الثقيل المتأخرة، أي منذ نحو ٣,٨ مليارات عام. وفي بدايات العام ٢٠١٧، وعلى أساس تكوينات الحفريات المكتشفة في شمال كيبيك، زعم بعض العلماء أن الحياة ربما بدأت منذ ٤,٢ مليارات عام مضت، وسيتعيّن علينا الانتظار كي نتحقّق من مدى صحة هذا الزعم.

لا يمتلك البيولوجيون بعد تفسيرًا كاملًا للكيفيّة التي تطوّرت بها أول الكائنات الحيّة. غير أنهم يفهمون الكثير من الخطوات في هذه العملية.

ورغم أن البيولوجيين لا يعرفون تحديدًا الشكل الذي كانت عليه أولى الكائنات الحيّة، فإنهم يشيرون إليه باسم السلف الشامل الأخير. بالتأكيد عاش هذا السلف في وقت سبق كل أشكال الحياة المبكرة التي اكتشفناها إلى الآن، ويشارك العديد من السمات مع الكائنات الحيّة الحديثة المعروفة ببدائيّات النّوى: وهي كائنات وحيدة الخليّة لا تكون مادّتها الوراثيّة محميّة داخل نواة. واليوم، توجد بدائيات النوى داخل نطاقين من نطاقات الكائنات الثلاثة الكبرى: البكتيريا والعتائق. (النطاق الثالث، الذي يعد نوعُنا جزءًا منه، هو حقيقيات النّوى).

لن نجد مطلقًا حفريات لذلك السلف الشامل الأخير، لأنه في الحقيقة كائن افتراضي، أشبه بصورة مجمَّعة لأول كائنٍ حيّ، كالرسم التصويري الذي يضعه رجال الشرطة لمجرم هارب. ومع ذلك فإن هذا الرسم يمكن أن يساعدنا في فهم الكيفية التي بدأت بها الحياة.

ربما كان السلف الشامل الأخير حيًّا بصورة ما، لكنه ليس حيًّا بالكامل، في موضع ما داخل منطقة الزومبي الواقعة بين الحياة والجماد. ليست هذه الفكرة صعبة التصوّر كما قد تبدو. فالفيروسات ليست حيّة بالكامل لأنها لا تستوفي جميع بنود تعريفنا للحياة؛ فهي لا تقوم بعملية الأيض، ولها أغشية شديدة الهشاشة، بل وليس من الواضح أننا نستطيع وصفها بالخلايا، فهي تزيد قليلًا عن كونها محض رزم من المادة الوراثية تعلّق

بكائنات أكثر تعقيدًا. وهي تدخل خليّة أخرى، وتختطف آليات الأيض الخاصّة بها، وتستخدمها في صنع نسخ من نفسها. فعندما تصاب بالإنفلونزا، تكون الفيروسات هي ما يستنزف الطاقة من مساراتك الأيضيّة. وحين تعجز الفيروسات عن العثور على خليّة تختطفها، فإنها تتوقّف عن العمل وتكمن في صورة من صور الحياة المعلّقة. تعيش بعض الخلايا في أعماق الصخور وتتّسم بعمليات أيض بطيئة للغاية، وهي تحيا على شذرات بسيطة من الماء والمغذيات. وهي قادرة على التوقّف عن العمل بالكامل لفترات طويلة، مثل عازف الجيتار هوتبلاك ديسياتو في رواية دوجلاس أدامز The Restaurant at the End of the Universe، الذي يقضي أحد الأعوام ميتًا بهدف التهرّب من الضرائب. والضريبة التي تتجنّبها هذه الكائنات، بطبيعة الحال، هي ضريبة التعقيد التي تفرضها الإنتروبيا. ربما عاش السلف الشامل الأخير في منطقة غسق مشابهة.

وُضعَت رسوم تجميعية للسلف الشامل الأخير عن طريق تحديد عدة مئات من الجينات الحاضرة في غالبية بدائيات النّوى والتي تكون عتيقة للغاية على الأرجح، وهي تشير إلى نوعية البيئة التي تطوّر فيها هذا السلف، لأنها تخبرنا بنوعية البروتينات التي كان ذلك السلف يقوم بتصنيعها من أجل البقاء حيًّا.

كان بوسع ذلك السلف المجمَّع (أو الأسلاف، لأننا نتحدّث في الواقع عن مليارات منها) التكيّف مع التغيّرات في البيئة المحيطة. فقد كان السلف يمتلك جينومًا، وبذا أمكنه التكاثر. كما أنه كان يتطوّر. ربما افتقر ذلك السلف إلى غشاء وإلى عملية أيض خاصّة به، فقد كانت جدران خلاياه مصنوعة على الأرجح من صخور بركانية مسامية، واعتمدت عملية الأيض لديه على التدفّقات الكيميائية الأرضيّة للطاقة، والتي لم يكن له عليها إلا أقل القليل من السيطرة. إن البروتينات التي صنعها ذلك السلف تشير إلى أنه كان يعيش على حافة الشقوق المحيطية القلوية، ربما داخل مسامّ دقيقة في صخور تشبه الحمم، كما حصل على طاقته من تدرّجات قريبة للحرارة والحمضيّة وتدفّقات البروتونات والإلكترونات. وعلى الأرجح كانت الأجزاء الداخلية لذلك السلف تسبح في السوائل الدافئة الآتية من داخل الأرض والتي كانت قلوية، وهو ما يعني وجود فائض من الإلكترونات. وخارج المسامّ البركانية التي كان ذلك السلف يتّخذ منها ملاذًا، كانت توجد مياه المحيط الأبرد، والتي كانت أكثر حمضيّة، وهو ما يعني أن بها فائض من البروتونات. ومثل البطارية المشحونة، فإن التدرّجات الكهربية الدقيقة بين الأجزاء الداخلية

لذلك السلف والعالم الخارجي وفّرت الطاقة الحرّة المطلوبة من أجل تشغيل عملية الأيض، وسحب المغذّيات من الخارج، وطرد المخلّفات.
وها هو الوصف الذي قدّمه نيك لين، أحد روّاد دراسات الحياة المبكرة، لذلك السلف الشامل الأخير:
لم يكن [السلف الشامل الأخير] خلية تعيش بحرية، وإنما كان عبارة عن متاهة من الخلايا المعدنية، تحيط بها جدران مكوَّنة من الحديد والكبريت والنيكل، وتمدّها بالطاقة تدرّجات بروتونات طبيعية. كانت الحياة الأولى عبارة عن صخرة مسامية ولَّدت جُزَيْئات معقّدة وطاقة، وصولًا إلى تكوين البروتينات والـ«دي إن آيه» ذاته.
ورغم أن ذلك السّلف كان بسيطًا مقارنة بالكائنات الحيّة الحديثة، فقد احتوى بالفعل على العديد من الأجهزة البيوكيميائية، منها العديد من وصفات الآلات الأيضيّة والتكاثريّة الخاصّة بالخلايا الحديثة. وقد احتوى على الأرجح على جينوم مبني على الـ«آر إن آيه» وذلك حتى يمكنه التكاثر على نحو أدقّ وأكثر تحديدًا بكثير من المواد الكيميائية وحدها، وهذا يشير إلى أنه ربما كان يتطوّر بسرعة. كما أنه كان يستخدم تدفّقات الطاقة التي استغلها في صنع الأدينوسين ثلاثي الفوسفات، وهو نفس الجُزَيْء الذي ينقل الطاقة داخل الخلايا الحديثة.

من السلف المشترك الأخير إلى بدائيّات النّوى

أنجز السلف المشترك الأخير وأقرباؤه بالفعل الكثير من العمل الشاقّ المطلوب لتطور أولى الكائنات الحيّة الحقيقية. غير أنه كان يفتقر إلى غشاء يستطيع حمله معه أينما ذهب، وإلى عملية أيض غير مرتبطة بتدفّقات الطاقة القريبة من الشقوق البركانية. كما بدا أيضًا أن ذلك السلف كان يفتقر إلى الآليات التكاثرية الأكثر تعقيدًا الحاضرة في غالبية الكائنات الحية والمبنية على اللولب المزدوج للـ«دي إن آيه»، الشبيه بالـ«آر إن آيه». نعلم في الوقت الحالي الأشياء التي كان عليها أن تتطوّر، غير أننا لا نفهم المسارات المحدّدة التي سلكتها هذه الأشياء في تطوّرها.
إن تفسير تطوّر الأغشية الواقية الخاصّة ليس بالأمر العسير. فأغشية الخلايا مصنوعة من سلاسل طويلة من الشحوم الفسفورية، وليس من الصعب دفع الشحوم الفسفورية إلى الارتباط في طبقات يمكنها أن تشكّل بِنى شبه مُنفِذة شبيهة بالفقاعات في ظل الظروف المناسبة. وربما، كما ذهب تيرانس ديكون، تطوّرت تفاعلات تحفيز ذاتي وولّدت طبقات الشحوم الفسفورية، جُزَيْئًا تلو الآخر. وإذا كان هذا

صحيحًا، فربما ليس من المستبعد أن نتصوّر وجود نسخة من السلف المشترك الأخير تقوم بغزل غشاء خاصّ بها.

أما تفسير الكيفية التي طوّرت بها الخلايا طرقًا أفضل للحصول على الطاقة والتكاثر فهو أمر أصعب، غير أن الآليات المستخدمة جوهريّة للغاية وأنيقة بحيث إن الأمر يستحقّ محاولة فهم كيفيّة عملها.

إن تطوير طرق جديدة لاستغلال تدفّقات الطّاقة بحيث تستطيع الخلايا الابتعاد عن الشقوق البركانية كان يعني بناء المكافئ الكيميائي لشبكة الكهرباء التي يمكن للجُزَيْئات الارتباط بها بينما تقوم بعملها. وقد لعبت الإنزيمات دورًا محوريًّا في هذا الأمر. والإنزيمات جُزَيْئات متخصّصة يمكنها أن تعمل عمل المواد الحفازة، بحيث تسرِّع عمل التفاعلات الخلوية وتقلّل من طاقة التنشيط المطلوبة لبدئها. واليوم، تلعب الإنزيمات دورًا محوريًّا في جميع الخلايا. وغالبية الإنزيمات عبارة عن بروتينات، مصنوعة من سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية. إن التتابع المحدّد للأحماض الأمينية له أهمّيته، لأنه يحدّد الكيفية التي سيُطوى بها البروتين بالشكل المناسب المطلوب للقيام بوظيفته المحدّدة. تسبح الإنزيمات داخل الكتلة الجُزَيْئية، باحثة عن الجُزَيْئات المستهدفة التي تتوافق معها، بنفس الطريقة التي يتوافق بها مفتاح الربط مع المسمار أو الصامولة (العزقة). بعد ذلك يستخدم الإنزيم دفعات ضئيلة من الطاقة كي يحرّك الجُزَيْء أو يثنيه أو يثلمه أو يشقّه إلى نصفين، أو يربطه بجُزَيْئات أخرى. وغالبية التفاعلات داخل جسدك ما كان لها أن تحدث من دون الإنزيمات، أو كانت ستتطلّب طاقات تنشيط عالية للغاية بحيث يمكن أن تتلف الخلايا.

وبمجرد أن ينتهي الإنزيم من تشكيل الجُزَيْء المستهدف، فإنه ينفصل عنه ويواصل اصطياد الجُزَيْئات الأخرى التي يمكن تشكيلها بحسب إرادته. ومن الممكن أيضًا أن يجري تشغيل الإنزيمات أو تعطيلها بواسطة جُزَيْئات أخرى ترتبط بها وتغيّر قليلًا من شكلها، وهذه هي الكيفية التي تحكم بها الإنزيمات التفاعلات شديدة التعقيد التي تجري داخل الخلية، مثلما يجري التحكّم في مليارات الترانزستورات داخل الحاسب.

تحصل الإنزيمات على الطّاقة التي تحتاجها من أجل القيام بعملها من المكافئ الخلوي للشبكة الكهربية. ومن المؤكّد أن هذه المنظومة قد تطوّرت في وقت مبكر من تاريخ الحياة. تُحمَل الطّاقة إلى الإنزيمات، وإلى أجزاء الخلية الأخرى،

بواسطة جُزَيْئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات، وعلى الأرجح كان الأدينوسين ثلاثي الفوسفات يعمل بكدّ داخل السلف المشترك الأخير. إن الإنزيمات والجُزَيْئات الأخرى تحصل على الطّاقة من الأدينوسين ثلاثي الفوسفات عن طريق تكسير مجموعة صغيرة من الذرّات، وإطلاق الطّاقة التي تربط هذه المجموعة بالجُزَيْء، بعد ذلك يتّجه الجُزَيْء المستنزَف (ويسمى الآن الأدينوسين ثنائي الفوسفات) إلى جُزَيْئات توليد خاصّة تقوم بإعادة شحنه عن طريق تعويض الذرّات المفقودة. تُشغَّل الجُزَيْئات المولّدة بواسطة عملية مبهرة تسمى التناضح الكيميائي، والتي اكتُشفَت في ستينيات القرن العشرين، لكن يبدو أنها تعمل داخل الخلايا منذ وقت السلف المشترك الأخير. وداخل كل خليّة، يجري تكسير جُزَيْئات الطعام من أجل الحصول على الطّاقة التي تحتوي عليها، وبعض من هذه الطّاقة يُستخدَم في ضخ البروتونات المنفردة من داخل الخليّة (حيث يوجد تركيز منخفض من البروتونات) إلى خارج الخلية (حيث يوجد تركيز مرتفع من البروتونات). وهذا الأمر يشبه إعادة شحن البطارية. وهو يولّد تدريجًا كهربيًّا بين داخل الخلية وخارجها، بفولطية تشبه تلك التي ربما استخدمها السلف المشترك الأخير داخل الشقوق القلويّة. وتستخدم الجُزَيْئات المولّدة الخاصّة (أدينوسين ثلاثي الفوسفات سينثاز، للمهتم بالمصطلح المتخصّص)، المغروسة داخل أغشية الخلايا الفولطية الكهربية، التي أنتجتها البروتونات العائدة من خارج الغشاء في تشغيل الأجزاء الدوّارة الثّانوية. ومثل خطّ التجميع الدوراني، تشحن الأجزاء الدوّارة جُزَيْئات الأدينوسين ثنائي الفوسفات عن طريق تعويض مجموعة الجُزَيْئات التي فقدتها، ثم تعود جُزَيْئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات المشحونة إلى داخل الخليّة وتنتظر أن
يرتبط بها جُزَيْء آخر كي يحصل على الطاقة التي يحتاجها ليواصل العمل.

هذه الشبكة الكهربية الخلويّة الأنيقة موجودة في كل الخلايا اليوم. وقد حرّرت هذه الشبكة الخلايا من ارتباطها بتدفّقات الطاقة الموجودة بالقرب من الشقوق البركانية، وسمحت لأولى بدائيات النوى بالتجوّل في محيطات الأرض، واستهلاك الطاقة من جُزَيْئات الطعام، واستخدامها في إنشاء جُزَيْئات أدينوسين ثلاثي الفوسفات التي يمكنها توفير الطاقة المطلوبة لتشغيل الأجزاء الداخلية من الخلية.

هذه التدفّقات الرقيقة من الطّاقة حافظت على البنية الداخلية المعقّدة للخلايا على النحو ذاته الذي حافظت به عمليات الاندماج النووي على بنية النجوم. ومثل الاندماج، مكّنت هذه التدفّقات أولى الخلايا الحيّة من دفع ضرائب التعقيد التي

تفرضها الإنتروبيا، لأن قدرًا كبيرًا من الطّاقة داخل الخلايا يُخصّص للمحافظة على عمل البنى المعقّدة، كما في النجوم. لكن كما في النجوم أيضًا، كثير من الطاقة يُهدَر لأنه لا توجد تفاعلات تتّسم بالكفاءة بنسبة ١٠٠ بالمائة، وبطبيعة الحال تحبّ الإنتروبيا الطّاقة المهدورة. وفي كل من النجوم والخلايا، تدفّقات الطّاقة المركّزة مطلوبة من أجل دفع ضرائب الإنتروبيا والتغلّب على الاتجاه العام للأشياء نحو التدهور.

في الكائنات الحيّة، للطّاقة وظيفة جديدة لا نجدها في النجوم؛ وهي صنع نسخ من الخليّة، وهذه النسخ تمكّن الخليّة من مقاومة الإنتروبيا عن طريق حفظ بنيتها المعقّدة حتى بعد أن تموت الخلايا المنفردة. ولقد طوّر أحفاد السّلف المشترك الأخير طرق التكاثر الأنيقة ذات الكفاءة التي لا تزال الكائنات الحيّة كافّة تستخدمها اليوم، وتلك الطّرق قائمة على جُزَيْء محوري، الـ«دي إن آيه»، والذي وُصفَت بنيته للمرة الأولى في العام ١٩٥٣ على يد كل من فرانسيس كريك وجيمس واطسون، بناءً على أبحاث سابقة أجرتها روزاليند فرانكلين. إن قدرًا كبيرًا من التطور يعتمد على فهم الكيفية التي يعمل بها الـ«دي إن آيه»، ومن الجدير إلقاء نظرة حريصة على هذا الجُزَيْء البديع.

الـ«دي إن آيه» (الحمّض النووي الريبوزي منقوص الأوكسيجين) قريب الشّبه للغاية بالـ«آر إن آيه» (الحمّض النووي الريبوزي). فكلاهما من البوليمرات، أي سلاسل طويلة من الجُزَيْئات المتشابهة. لكن بينما تتألّف البروتينات من خيوط طويلة من الأحماض الأمينية، وتتكوّن الأغشية من الشحوم الفوسفورية، فإن الـ«دي إن آيه» والـ«آر إن آيه» مصنوعَين من سلاسل طويلة من النيوكليوتيدات. والنيوكليوتيدات عبارة عن جُزَيْئات سكّرية ترتبط بها مجموعات صغيرة من الجُزَيْئات تعرف بالقواعد. ثمة أربعة أنواع من القواعد: الأدينين (A)، والسيتوسين (C)، والجوانين (G)، والثايمين (T)، (وفي الـ«آر إن آيه» يحلّ اليوراسيل (U) محل الثايمين). وها هو السحر. فكما بيَّن واطسون وكريك، من الممكن استخدام هذه القواعد الأربع كنوعٍ من حروف الأبجدية من أجل حمل كميات هائلة من المعلومات. وبينما تترابط جُزَيْئات الـ«دي إن آيه» أو الـ«آر إن آيه» كي تشكّل سلاسل عملاقة، تبرز القواعد من الجانب، بحيث تشكّل خيطًا طويلًا من حروف A أو C أو G أو T (أو U في حالة الـ«آر إن آيه»). وكل مجموعة من ثلاثة أحرف تحمل شفرة حمّض أميني معيّن أو تحتوي على تعليمات

محدّدة، على غرار: توقّف عن القراءة الآن. وهكذا، يقول التتابع TTA: أضف جُزَيْئًا من حمّض الليوسين الأميني، بينما التتابع TAG يكون عبارة عن علامة ترقيم تقول: حسنًا، يمكنك التوقّف عن النَّسْخ الآن.

إن المعلومات التي يحملها الـ«دي إن آيه» أو الـ«آر إن آيه» يمكن قراءتها ونسخها لأن القواعد تحب الارتباط ببعضها بعضًا باستخدام روابط هيدروجينية، والتي يمكن تكوينها وكسرها بسهولة. غير أن القواعد تترابط بطرق معيّنة وحسب. فالأدينين يرتبط على الدوام مع الثايمين (أو اليوراسيل في حالة الـ«آر إن آيه»)، والسيتوسين يرتبط مع الجوانين. تقوم إنزيمات خاصّة بكشف سلاسل الـ«دي إن آيه» التي تتوافق مع جينات معينة أو تحمل شفرة بروتينات معينة، وكل قاعدة تجتذب القاعدة المقابلة لها كي تشكّل سلسلة قصيرة جديدة من النيوكليوتيدات التي تكمل السلسلة الأصلية. بعد ذلك يجري نقل القطعة المتكوّنة حديثًا إلى جُزَيْء كبير يعرف بالريبوسوم، وهو أشبه بمصنع لبناء البروتينات. يقرأ الريبوسوم تتابع الأحرف الثلاثي وينتج الأحماض الأمينيّة المناسبة، واحدًا تلو الآخر، بالترتيب الصحيح كي يصنع بروتينًا محدّدًا، ينتقل بعد ذلك إلى الخلية كي يؤدّي عمله. وبهذه الطريقة تستطيع الريبوسومات تصنيع آلاف البروتينات التي تحتاجها الخلية.

آخر قطعة من السحر هي أن جُزَيْئات الـ«دي إن آيه» والـ«آر إن آيه» يمكنها استخدام آليات النّسخ هذه من أجل صنع نسخ من أنفسها ومن كل المعلومات التي تحتوي عليها. فبإمكان القواعد أن تبرز إلى الجانب من سلاسل السكر-الفوسفات الخاصّة بها وأن تمتد عبر الكتلة الخلوية وأن تجتذب القواعد المتوافقة معها. وبهذا عادة ما يرتبط السيتوسين مع الجوانين، والأدينين مع الثايمين (أو اليوراسيل في حالة الـ«آر إن آيه»). وتجتذب القواعد المرتبطة حديثًا جُزَيْئات سكر جديدة ترتبط معًا، وبهذه الطريقة فإنها تشكّل سلسلة جديدة تكون مكمّلة بالضبط للسلسلة الأولى. في حالة الـ«دي إن آيه»، عادة ما تلتصق هاتان السلسلتان المتكاملتان معًا، ولهذا السبب عادة ما يوجد الـ«دي إن آيه» على صورة سلسلة مزدوجة أو لولب مزدوج، أشبه بزوج من السلالم المنحنية الملتفّة حول ذاتها. ومن الممكن أن يلتف الجُزَيْء حول نفسه في إحكام شديد بحيث يُخزَّن داخل كل خلية، ولا يتحرّر إلا حين تتمّ قراءته أو حين يصنع نسخًا من نفسه. ومع ذلك، فعادة ما يوجد الـ«آر

إن آيه» كسلسلة منفردة، ولهذا يمكنه أن يلتف كالبروتين ويتّخذ أشكالًا محدّدة ويتصرف مثل الإنزيم.

هذا الاختلاف البسيط بين الـ«آر إن آيه» والـ«دي إن آيه» مهم للغاية لأنه يعني أنه بينما يستطيع الـ«دي إن آيه» العمل فقط كمخزن للمعلومات الوراثية، فإن الـ«آر إن آيه» يستطيع تخزين المعلومات وكذلك القيام بعمليات كيميائية. فهو بمنزلة العتاد الصلب والمرن للحاسب، ولهذا السبب يؤمن كثيرون من الباحثين بأنه في وقت ما من الماضي، ربما حين كان السلف الشامل الأخير لا يزال موجودًا، كانت غالبية المعلومات الوراثية محمولة بواسطة الـ«آر إن آيه». وعلى الأرجح عاش هذا السلف في عالم من الـ«آر إن آيه». غير أن الـ«آر إن آيه» ليس بالمخزن الآمن للمعلومات الوراثية كالـ«دي إن آيه»، لأن المعلومات تكون مكشوفة على العالم الداخلي العنيف للخليّة، بينما اللولب المزدوج للـ«دي إن آيه» يحمي المعلومات القيّمة من الدوامة التي تحدث في الخارج. ففي عالم الـ«آر إن آيه»، كان من الممكن أن تضيع المعلومات الوراثية بسهولة أو تتعرّض للتشويه، ولم يسر التطوّر قدمًا بحق إلا بعد تطور عالم الـ«دي إن آيه» على يد أحفاد السلف الشامل الأخير، بدائيات النّوى الحقيقيّة، التي تهيمن على عالم الكائنات الدقيقة اليوم.

وفي ظل امتلاكها أغشية خاصّة بها، وعمليات أيض مستقلة، وآلات وراثية أدقّ وأكثر استقرارًا، كان بمقدور أولى بدائيات النّوى أن تترك الشقوق البركانية التي ولدت فيها وأن تجوب محيطات الأرض الوليدة. وقد فعلت هذا على الأرجح منذ ٣,٨ مليارات عام.

إن كل خلية من بدائيات النّوى عبارة عن مملكة كاملة ذات تعقيد بالغ. فتسبح مليارات الجُزَيْئات عبر كتلة كيميائية لزجة سميكة، وتدفعها وتجذبها الجُزَيْئات الأخرى لآلاف المرّات في كل ثانية، على نحو شبيه بما يحدث للسائح في سوق مزدحم بالتجار والباعة الجائلين والنشالين. وإذا وجدت نفسك داخل واحد من هذه الجُزَيْئات فستجد أن هذا العالم مرعب؛ إذ ستحاول الإنزيمات الالتصاق بك وتغيير شكلك، وربما تقوم بربطك بجُزَيْئات أخرى كي تشكّل فريقًا جديدًا يمكنه أن يجوب السوق ويبحث عن فرص جديدة. تخيّل ملايين من هذه التفاعلات تحدث داخل كل خليّة في كل ثانية، وستكون لديك فكرة عن النشاط المحموم الذي زوَّد حتى أبسط الخلايا بالطاقة في الغلاف الحيوي المبكر.

هذا عالم جديد ونوع جديد من التعقيد. ومثل النجوم والكواكب التي تشكّلت خلال فترات من التغيير الفوضوي المحموم، استقرّت الخلايا في نهاية المطاف بينما بدأت في إدارة ومقاومة التفاوتات الطفيفة في بيئاتها. حقّقت الخلايا توازنًا مؤقتًا، وهو ما انطبق بالمثل على أنواع وسلالات كاملة ومجموعات من الأنواع. غير أن هذا التوازن لم يكن راكدًا قط، بل كان ديناميكيًّا، وحافظ على الدوام على علاقة تفاوض متواصلة بين الكائنات الحيّة والبيئات المتغيّرة، وكان دائمًا معرّضًا لخطر الانهيار المفاجئ.

الفصل الخامس : الحياة البسيطة والغلاف الحيوي

كي يعطي إيثا وراهل إحساسًا بالمنظور التاريخي... أخبرهما تشاكو عن المرأة الأرض. فجعلهما يتخيلان أن الأرض -البالغة من العمر أربعة آلاف وستمائة مليون عام- كانت امرأة في السادسة والأربعين من عمرها... لقد أمضت المرأة الأرض حياتها كلّها كي تصل الأرض إلى ما كانت عليه، وكي تنفصل المحيطات، وكي تنتصب الجبال. وقال تشاكو إن المرأة الأرض كانت تبلغ من العمر أحد عشر عامًا حين ظهرت أولى الكائنات وحيدة الخلية.

أروندhاتي روي، The God of Small Things

تؤلّف الأرض والحياة معًا الغلاف الحيوي. وقد استُخدمَ مصطلح الغلاف الحيوي للمرّة الأولى على يد الجيولوجي النمساوي إدوارد سويس (١٨٣١ - ١٩١٤). فقد رأى سويس الأرض بوصفها مجموعة من الأغلفة المتداخلة التي يخترق بعضها بعضًا أحيانًا، والتي تضمّنت الغلاف الجوي (غلاف الهواء)، والغلاف المائي (غلاف الماء)، والغلاف الصخري (المستويات العليا الصلبة من الأرض، وتتضمّن القشرة والطبقات العليا من الوشاح). غير أن الجيولوجي الروسي فلاديمير فرنادسكي (١٨٦٣ - ١٩٤٥) كان أول من بيَّن أن غلاف الحياة قد شكَّل تاريخ الكوكب بنفس قوة الأغلفة الأخرى غير الحيّة. ويمكننا التفكير في الغلاف الحيوي بوصفه النسيج الحيّ الرقيق الملتف (وبقايا وآثار النسيج الحيّ)، الذي يمتدّ من أعماق المحيطات إلى سطح الأرض وصولًا إلى الطبقات الدنيا من الغلاف الجويّ. وفي سبعينيات القرن العشرين بيَّن جيمس لوفلوك ولين مارجوليس أن الغلاف الحيوي يمكن النظر إليه بوصفه منظومة لها العديد من آليات التغذية الراجعة التي تمكّنه من تحقيق الاستقرار في غياب أي صدمات ضخمة. وقد أطلق لوفلوك على هذه المنظومة ذاتية التنظيم اسم جايا، على اسم ربة الأرض الإغريقية.

الجيولوجيا: كيف يعمل كوكب الأرض

استغرقت الحياة بعض الوقت كي تنطلق من عقالها، لذا سنبدأ أولًا بتدبر كوكب الأرض باعتباره منظومة جيولوجية خالصة، وكأنه خشبة مسرح أُعدَّت قبل وصول الممثلين. ومن المفترض أن يسهل هذا من فهم الدراما المعقّدة التي ستمثّلها لاحقًا الكائنات الحية.

أنتجت عمليتا التراكم والتمايز العنيفتين، اللتين شكّلتا كوكب الأرض الوليد، كرةً ثريّة كيميائيًّا من المادة المنفصلة إلى طبقات متمايزة. فقد كان هناك اللُب شبه المنصهر المكوّن في معظمه من الحديد والنيكل، والذي ولَّد مجالًا مغناطيسيًّا واقيًا حول الأرض، وحول اللُبّ كانت توجد طبقة بسمك ثلاثة آلاف كيلومتر من الغازات والماء والصخور شبه المنصهرة، وهذا هو الوشاح. ارتفعت أخف الصخور إلى السطح وشكلت القشرة الأرضية، كما تسربت الغازات وبخار الماء عبر البراكين وشكّلت الغلاف الجوي الأوّل للأرض وكذلك المحيطات، وجلبت النيازك والكويكبات شحنات جديدة من الصخور والمعادن والمياه والغازات والجُزَيْئات العضوية.

ومنذ نحو ٣,٨ مليارات عام، حين خفّت حدّة القصف القادم من الفضاء، كان المحرّك الرئيسي للتغيّر الجيولوجي هو الحرارة المدفونة في لُب الأرض. تسرّبت تلك الحرارة عبر الوشاح، إلى القشرة، ثم إلى الغلاف الجوّي، مسبّبة تحريك المواد في كل طبقة، وتغييرها كيميائيًّا، وحرّكت كمّيات كبيرة من المادة والغاز في دوائر عملاقة ببطء. ومثل تطوّر النجوم، كان التطوّر الجيولوجي للأرض مدفوعًا بالأساس بعمليات بسيطة تغذّت على مخزون مبدئي غير متجدّد من الطاقة. وقد تغيّرت الأرض مع تسرب الحرارة من اللُب عبر الوشاح والقشرة، إلى الفضاء.

لا تزال الحرارة النابعة من اللبّ تحرّك العديد من العمليات الجيولوجية، وستواصل عمل ذلك لمليارات الأعوام. غير أن الجيولوجيين لم يتبيّنوا الكيفيّة التي تعمل بها هذه الآلة الجيولوجيّة العملاقة إلا في ستينيات القرن العشرين. وقد بُني فهمهم الجديد للجيولوجيا على واحدٍ من أهم النماذج الإرشاديّة الحديثة في العلم: حركة الصفائح التكتونية.

لم يستطع البشر تصوّر شكل سطح الأرض إلا في القرون الخمسة الأخيرة، حين تمكّنوا للمرة الأولى من الإبحار حولها. غير أن معظم الناس ظلّوا على اعتقادهم بأن على النطاقات الكبيرة، كانت جغرافية العالم ثابتة بصورة أو بأخرى. فربما تثور البراكين وتغيّر الأنهار مساراتها، لكن من المؤكّد أن شكل القارات والمحيطات والجبال والأنهار والصحاري والقمم الجليدية والوديان السحيقة لم يكن يتغيّر. ومع هذا فقد بدأ البعض يشكّ في صحّة هذا الأمر. ومثلما بيَّن داروين أن الحياة تغيّرت تغيّرًا عميقًا على مر الدهور، بدأت تتراكم أدلّة تشير إلى أن الأرض هي الأخرى لها تاريخ من التغيّر العميق.

في العام ١٨٨٥، اقترح إداورد سويس أنه منذ مائتي مليون عام كانت القارات كلّها متّحدة في قارة واحدة كبيرة ضخمة. ونحن نعلم الآن أنه محقّ تمامًا. وبعد ثلاثة عقود، جمع ألفريد فيجنر، عالم الأرصاد الجوية الألماني الذي كان يجري أبحاثه في جرينلاند، أدلّة عديدة تؤيد فكرة سويس. وقد نشر فيجنر تلك الأدلة في العام ١٩١٥، في منتصف الحرب العالمية الأولى، في كتاب عنوانه «أصل القارات والمحيطات» (ربما كان يقصد الإشارة إلى كتاب داروين «أصل الأنواع»). ومثلما افترض داروين أن الكائنات الحيّة تطوّرت، اقترح فينجر أن القارات والمحيطات كانت تتطوّر، بواسطة آلية سمّاها الانجراف القاري. وبعد أن كانت القارّات كلّها متّحدة في قارة عملاقة تسمى بانجايا (أو Pan-Gaia، وهي كلمة إغريقية بمعنى «الأرض كلّها»)، فإنها افترقت ببطء وتحرّكت إلى مواضعها الحالية.

أورد فيجنر العديد من الأدلة. فعلى خريطة العالم، يبدو العديد من الأجزاء كما لو أنها كانت متّحدة معًا، وهو شيء لاحظه الناس منذ صنع أولى خرائط العالم في القرن السادس عشر. وقبل العام ١٦٠٠ بقليل، علَّق رسام الخرائط الهولندي أبراهام أورتيليوس بأن الأمريكتين تبدوان وكأنما «اقتطعتا» من أوروبا بفعل كارثة ما. وإذا نظرت إلى خريطة حديثة للعالم، سترى أن النتوء الظاهر في شكل البرازيل يتوافق مع التجويف الظاهر في غرب ووسط أفريقيا، بينما تبدو غرب أفريقيا وكأنها تتوافق تمامًا مع القوس الكبير للكاريبي. وفي ستينيات القرن العشرين أدرك الجيولوجيون أن التوافق يصير أفضل إذا ركّزت على حواف المنحدرات القاربة.

بيَّن فيجنر أنه توجد حفريات متطابقة بشكل شبه تام لزواحف قديمة في كل من أمريكا الجنوبية ووسط وجنوب أفريقيا. كما أن ألكسندر فون همبولت، العالم الألماني الذي عاش في بدايات القرن التاسع عشر وكان أحد الباحثين الذين كتبوا قصّة أصل حديثة مبنية على العلم، لاحظ كذلك وجود أوجه شبه بين النباتات الساحلية في أمريكا الجنوبية وأفريقيا. بعد ذلك كانت توجد الطبقات الأرضية التي بدت وكأنها تبدأ في غرب أفريقيا وتواصل امتدادها إلى شرق البرازيل من دون فواصل. ونظرًا لكون فيجنر عالم أرصاد جوية، فقد كان مهتمًّا على وجه الخصوص بالأدلّة المناخيّة. وفي أفريقيا الاستوائيّة، يمكنك العثور على آثار الأنهار الجليديّة. فهل من الممكن أن تكون أفريقيا الاستوائية قد هامت قرب القطب

الجنوبي؟ وفي جرينلاند، وجد فيجنر حفريات لنباتات استوائية. من المؤكّد أن شيئًا ما قد تحرّك عبر مسافات طويلة في الماضي البعيد.

غير أن وضع فرضية علمية متماسكة يتطلّب ما هو أكثر من بعض الأدلة الموحية. ولم يساعد نشر الكتاب في منتصف الحرب العالمية الأولى فيجنر في قضيته، كما أن حقيقة أنه شخص ألماني وأنه ليس جيولوجيًّا ضمنت أن قلة قليلة من الجيولوجيين في العالم المتحدّث بالإنجليزية أخذوا أفكاره بجدّية. فهل كان من الممكن حقًّا لقارات بكاملها أن تتحرّك عبر المحيطات؟ لم تكن لدى فيجنر أي فكرة عن القوة التي كان من الممكن أن تدفع القارّات، وفي أعين غالبية الجيولوجيين المحترفين كان غياب التفسير كافيًا لوأد هذه الفرضية في مهدها. وفي نوفمبر ١٩٢٦ رُفضَت نظرية فيجنر عن الانجراف القاري بحسم من جانب الرابطة الأمريكية لجيولوجيي البترول. وبدا أن تلك هي نهاية القصّة.

غير أن عددًا قليلًا من الجيولوجيين أثارت هذه الفكرة اهتمامه. وذهب الجيولوجي البريطاني آرثر هولمز في العام ١٩٢٨ إلى أن الحيّز الداخلي للأرض ربما يكون ساخنًا بما يكفي بحيث يعمل عمل السائل المحرّك، مثل الحمم. وإذا صح هذا، فربما أمكن لحركة المواد داخل الأرض أن تحمل قارّات بأكملها وتحرّكها حول الكرة الأرضية. لكن حتى خمسينيات القرن العشرين لم تظهر أدلة جديدة تبين أن فيجنر وهولمز وغيرهما من الداعمين لفكرة الانجراف القاري كانوا يسيرون على الطريق الصحيح.

حينئذٍ ظهر السونار على الساحة (وكلمة السونار، sonar، مأخوذة من الحروف الأولى للكلمات sound navigation ranging بمعنى الصوت والملاحة وتحديد المدى). إن باستطاعة تكنولوجيا السونار رصد الأجسام المحلية تحت الماء وتحديد مواقعها عن طريق إرسال الإشارات نحوها وتحليل الصدى العائد منها. تستخدم حيوانات عديدة السونار، كالدلافين والوطاويط. وتعد تكنولوجيا السونار البشرية، شأن التأريخ الإشعاعي، نتاجًا للجهد العلمي المبذول أثناء الحرب، وفي هذه الحالة المحاولات المبذولة لرصد الغواصات المعادية. كان هاري هيس، أستاذ الجيولوجيا في جامعة برينستون، قائدًا بحريًّا خلال الحرب العالمية الثانية، وقد استخدم السونار في تتبّع الغواصات الألمانية. وبعد الحرب، استخدم هيس السونار في رسم خرائط لقاع المحيط، وهي المنطقة التي كانت مجهولة للجيولوجيين البحريين. كان معظم الجيولوجيين يتوقّعون أن قاع المحيط عبارة عن طميٍّ مستوٍ

مجروف من القارّات. وبدلًا من ذلك، وجد هيس سلاسل من الجبال البركانية تمتد عبر المحيط الهادئ. لم يتوقّع أي من الجيولوجيين ذلك. وبعد اكتشاف سلسلة مشابهة تمتد عبر منتصف المحيط الأطلسي في أوائل خمسينيات القرن العشرين، بدأ هيس يطوّر نظرية لتفسير هذه النتوءات التي تمتدّ في منتصف المحيط. وقد صارت مهمّته أسهل بفضل دراسات المغناطيسية القديمة الخاصّة بقاع المحيط. كان معروفًا بالفعل أنه على مدار فترات امتدت إلى بضع مئات الآلاف من الأعوام تبادل القطبان المغناطيسيان الشمالي والجنوبي الموقع مرات عدة. وهذه التقلبات تركت آثارها في الحمم التي تسرّبت عبر قاع المحيط واتخذت الاتجاه المغناطيسي السائد وهي تتصلّب. وقد بينت قياسات الاتجاه المغناطيسي للصخور الموجودة على كلا جانبي النتوءات البركانية وجود سلسلة من التقلبات بين الشمال والجنوب بينما تتحرّك مبتعدًا عن النتوءات. وأثار هذا حيرة هيس.

وفي النهاية، توصّل هيس إلى أن سلاسل الجبال الممتدّة تحت المحيط كانت نتاج الصهارة المندفعة من الشقوق الموجودة في قشرة المحيط. كان هذا منطقيًّا، لأن قشرة المحيط أرقّ من القشرة القارية، لذا يمكن أن تخترقها الصهارة الساخنة بسهولة أكبر. وبينما صعدت الصهارة عبر الصخور في قشرة المحيط، فإنها دفعت القشرة إلى الجانبين، مسببة وجود قاع جديد مطبوع عليه الاتجاه المغناطيسي للفترة التي تكوَّن فيها. ويقدم تبادل الاتجاه المغناطيسي للصخور الموجودة في منتصف المحيط سبيلًا لتأريخ تكوّن هذه السلاسل الجبلية الواقعة تحت الماء.

بين ثنايا هذه الاكتشافات كانت تقبع القوة المحرّكة للانجراف القاري التي بحث عنها فيجنر دون جدوى. فسلاسل الجبال، والقارّات، وقيعان المحيطات كانت تتكوّن وتُدفَع جانبًا بواسطة كميات كبيرة من الصهارة الحارّة التي ارتفعت من وشاح الأرض، وتدفّقت عبر الشقوق الموجودة في قشرة المحيط. وقد كانت الصهارة ساخنة بفعل العناصر المشعّة والحرارة الآتية من اللبّ، الذي احتفظ بكثير من الطاقة المخزّنة به خلال عمليات التراكم وتكوُّن الأرض العنيفة. وهنا، في قلب الكوكب، تكمن القوّة المحرّكة المفقودة. ومثل عملية الاندماج التي تحدث في قلب النجم، كانت الحرارة المتسرّبة من مركز الأرض هي ما يحرّك غالبية العمليات الجيولوجية المهمّة على السطح.

لدينا الآن أدلة وفيرة على أن القشرة الأرضية، المحيطية والقارّية على السواء، مقسّمة إلى صفائح منفصلة تتزاحم على الموقع بينما يجري تحريكها إلى الأمام

والخلف بواسطة الحمم نصف المنصهرة التي تطفو عليها. إن الصهارة الساخنة المرتفعة من أعماق الأرض تدور تحت القشرة، مثل المياه التي تغلي في قدر الصلصة. وتيارات الحَمل هذه الخاصّة بالصخور نصف السائلة والحمم هي التي تحرّك الصفائح التكتونية التي تطفو عليها. وقد أتاحت الدراسات التفصيلية للأحزمة المغناطيسية القديمة لعلماء الأرض تتبع حركة الصفائح عبر مئات الملايين من الأعوام، وهو ما منحنا بيانات متزايدة الدقّة عن الجغرافيا المتغيرة للأرض على مدار المليار عام الماضية أو نحو ذلك. ونحن نعرف الآن أن هذه الحركات تسبّبت في وجود قارّات عملاقة مثل بانجايا، ثم قسّمتها عدّة مرات في عملية دورية بدأت على الأرجح في بدايات دهر الطلائع، منذ ملياري ونصف المليار عام، وقبل ذلك الوقت، لم يكن ثمة وجود على الأرجح لقارّات كبيرة. غير أن الجيولوجيين يذهبون إلى آلة الصفائح التكتونية ربما بدأت في العمل في زمن مبكر من ذلك. وتشير الأدلّة الآتية من الدهر الجهنمي إلى أن صورة ما من حركة الصفائح التكتونية كانت موجودة بالفعل منذ ٤,٤ مليارات عام، بمجرد أن انقسمت الأرض إلى طبقات متمايزة.

كانت الصفائح التكتونية فكرة جامعة، مثلها مثل الانفجار العظيم في علم الكونيات. وقد فسرت هذه الفكرة وبيّنت الصِّلات بين العديد من العمليات المختلفة، من الزلازل إلى تكوّن الجبال وحركة القارات. وهي تفسِّر لماذا يقع العديد من الحوادث الجيولوجية العنيفة في المواضع التي تتقابل فيها الصفائح التكتونية وتشقّ طريقها بجوار، وأعلى وأسفل، بعضها البعض. كما تفسِّر حركة الصفائح التكتونية أيضًا لماذا يتّسم سطح كوكب الأرض بهذه الديناميكية، إذ يتجدّد باستمرار نتيجة وصول موادّ جديدة من طبقة الوشاح، بينما تغوص مادة السطح بدورها إلى باطن الأرض.

ومن أجل فهم الكيفية التي تعمل بها حركة الصفائح التكتونية بالتفصيل، من المفيد التركيز على الحدود بين الصفائح التكتونية. عند «الصدوع المتباعدة»، شأن تلك التي وصفها هاري هيس، ترتفع المادّة من الوشاح وتدفع الصفائح جانبًا. ولكن في مواضع أخرى، عند «الصدوع المتقاربة»، تندفع الصفائح بعضها نحو بعض. إذا كان لصفيحتين الكثافة عينها -مثلًا لو كانتا مكوَّنتين من صفيحتين قارّيتين جرانيتيَّتَيْن- حينها ستتراجع الصفيحتان إحداهما عن الأخرى، مثل ذكَرَيّ الفقمة المتصارعَين. هذه هي الكيفية التي تشكّلت بها جبال الهيمالايا؛ ففي غضون

الخمسين مليون عامًا الماضية تحركت الصفيحة الهندية سريعة الحركة شمالًا من القارة القطبية الجنوبية وارتطمت بالصفيحة الآسيوية. لكن لو كانت الصفيحتان المتقاربتان مختلفتي الكثافة -مثلًا لو كانت إحداهما مكوَّنة من قشور بازلتية محيطية ثقيلة والأخرى من قشرة قارية جرانيتية أخف- تكون القصّة مختلفة؛ إذ تنزلق الصفيحة الأثقل أسفل الصفيحة الأخف عند مناطق الاندساس. تغوص الصفيحة الأثقل إلى الأسفل، مثل المصعد الساقط إلى الطابق الأرضي. وبمجرد أن تخترق الصفيحة الهابطة طبقة الوشاح، فإنها تولّد قدرًا كبيرًا من الاحتكاك والحرارة إلى درجة أن من الممكن أن تصهر القشرة التي تعلوها، بحيث تشقّها وتسبّب بروز عدد من سلاسل الجبال البركانية الجديدة. هذه هي الكيفية التي تكوّنت بها جبال الأنديز، إذ اندفعت صفيحة المحيط الهادئ أسفل الصفيحة الحاملة للساحل الغربي لأمريكا الجنوبية.

وأخيرًا هناك «الصدوع التحويلية». وهنا، تحتكّ صفيحتان إحداهما بالأخرى وكأنهما ورقتا صنفرة عالقتان معًا لكن تُدفعان في اتجاهين متباينين. سيتسبّب الاحتكاك في منع الصفيحتين من الانزلاق إلى أن يتراكم قدر كبير من الضغط بحيث تحدث دفعة عنيفة مفاجئة. هذا هو مصدر الضغط المحتشد على امتداد فالق ساند أندرياس على الساحل الغربي لأمريكا الشمالية. (حين كنت أعيش في سان دييجو، كنت أشعر أحيانًا بالهزات الناجمة عنه، وشأن كثير من قاطني كاليفورنيا فقد تعيّن عليَّ شراء تأمين ضد الزلازل).

إن دوران الموادّ بين الغلاف الجوّي وسطح الأرض والوشاح له تأثير عميق على كيمياء الطبقات العليا للأرض. فقد ولَّد أنواعًا كثيرة من الصخور والمعادن. وبحلول الوقت الذي بدأت فيه الحياة في الازدهار على الأرض، كانت العمليات الكيميائية داخل الوشاح قد أنتجت بالفعل نحو ألف وخمسمائة مركّب معدني مختلف. إن حركة الصفائح التكتونية تمنح كوكب الأرض ديناميكية كيميائية وجيولوجية استثنائية.

كما أثَّرَت حركة الصفائح التكتونية بالمثل على درجة حرارة سطح كوكب الأرض الوليد، ولقد رأينا بالفعل الدور المحوريّ الذي تلعبه درجة الحرارة في تاريخ الحياة على الأرض. تحدّد قوتان أساسيتان متوسط درجة الحرارة عند سطح الأرض، وهما: الحرارة المنبعثة من باطن الأرض والحرارة الآتية من الشمس، ومن الممكن حساب هاتين الحرارتين بصورة تقريبية. غير أن تركيبة الغلاف

الجوّي تساعد في تحديد مقدار الحرارة الذي يظلّ باقيًا عند سطح الأرض ومقدار الحرارة الذي يتسرّب إلى الفضاء. ومن المهم على وجه التحديد نسبة غازات الدفيئة، وهذه الغازات، مثل ثاني أوكسيد الكربون والميثان، تحبس طاقة حرارة الشمس بدلًا من أن تعكسها إلى الفضاء. ويعني وجود كميات كبيرة من غازات الدفيئة في العموم أن كوكب الأرض يصير أدفأ. فما الذي يتحكّم في مستويات غازات الدفيئة إذًا؟

أوضح الفلكي كارل ساجان (وهو أحد الرواد العظام لقصّة الأصل الحديثة) أن الإجابة على هذا السؤال مهمّة لأنها ربما تحلّ لغزًا آخر. فالنجوم مثل شمسنا تطلق المزيد والمزيد من الطاقة كلّما تقدّمت في العمر،

ومن ثم فإن مقدار الحرارة الذي يصل إلى الأرض يزيد ببطء. وحين كانت الأرض شابّة، كانت الشمس تطلق طاقة اقل بنحو ٣٠ بالمائة مما تطلقه اليوم. لماذا إذًا لم تكن الأرض المبكرة عبارة عن كرة من الجليد وباردة بحيث يستحيل ظهور الحياة عليها، كما هو حال كوكب المريخ اليوم؟ أطلق كارل ساجان على هذه المشكلة «مفارقة الشمس المبكرة الخافتة».

والإجابة، كما تبيّن، هي كمّيّة غازات الدفيئة في الغلاف الجوّي المبكر. فقد كانت مستوياتها مرتفعة بما يكفي بحيث تدفئ الأرض اليافعة إلى درجة سمحت للحياة بالتطور. فلم يكن ثمة وجود تقريبًا للأوكسيجين في الغلاف الجوّي المبكر للأرض، وإنما كان يوجد قدر وفير من غازات الدفيئة، خاصّة بخار الماء والميثان وثاني أوكسيد الكربون، التي خرجت من الوشاح عبر البراكين أو جلبتها الكويكبات. وقد شكّل الغلاف الجوّي المؤلّف من غازات الدفيئة أحد الظروف المثاليّة لتطوّر الحياة على الأرض الوليدة.

لكن إلى أي مدى كان هذا الغلاف الجوي المؤلّف من غازات الدفيئة مستقرًّا؟ أو لو تساءلنا بصورة أكثر عمومية، ما الذي ضمن أنه حين بدأت الشمس في إطلاق المزيد من الطاقة، ظلّ سطح الأرض داخل نطاق درجات الحرارة السحري الذي يتراوح بين صفر درجة ومائة درجة مئوية؟ في سبعينيات القرن العشرين ذهب جيمس لوفلوك ولين مارجوليس إلى وجود آليات تنظيمية ذاتية تُبقي سطح الأرض في نطاق درجات الحرارة المثالية. وكما رأينا، فقد أطلقا على ذلك الشيء اسم جايا. وتتألّف جايا من إجمالي العلاقات بين جيولوجيا الأرض وكائناتها الحيّة، هذه العلاقات التي تُبقي الأرض صالحة لاستضافة الحياة. يتشكّك العديد من العلماء

في فرضية جايا، لكن من الواضح أن ثمّة آليات تغذية راجعة بالفعل داخل الغلاف الحيوي، والعديد منها تعمل بالفعل عمل الثرموستات التي تنظم جزئيًّا درجة حرارة سطح الأرض. وبعض هذه الآليات جيولوجي، بينما البعض الآخر يعمل عن طريق الكائنات الحية.

إحدى أهم آليات تنظيم الحرارة هذه جيولوجية بالكامل، لذا من المؤكّد أنها بدأت في العمل قبل أن توجد الحياة على الأرض، وهذه الآلية تربط حركة الصفائح التكتونية بمحرّك آخر للتغيّر الكوكبي: التعرية. فبينما تبني حركة الصفائح التكتونية الجبال، تتسبّب التعرية في تآكلها. إن الرياح والماء والتدفّقات الكيميائية من مختلف الأنواع تفتّت صخور الجبال وتنقلها بقوّة الجاذبية إلى المحيطات. وتفسّر التعرية لماذا لا تكون الجبال أعلى كثيرًا مما هي عليه، وتفسّر حركة الصفائح التكتونية لماذا لم تختفِ كلّها بحيث صارت الأرض سهلًا واحدًا شاسعًا. إن التعرية نفسها نتاجًا جانبيًّا لحركة الصفائح التكتونية، بطبيعة الحال، لأن كلًّا من الريح والمطر ينطلقان من الأجزاء الداخلية للأرض. كما أن عملية تكوّن الجبال يمكن أن تسرِّع من التعرية، لأن الجاذبية تحوّل الأنهار الجبلية المرتفعة إلى سيول جارفة مدمّرة تجرف الأرض وتنقل التربة بسرعة نحو المحيط.

وإليك الكيفية التي يعمل بها منظِّم الحرارة الجيولوجي. يذوب ثاني أوكسيد الكربون، أحد أقوى غازات الدفيئة، في مياه الأمطار ويصل إلى الأرض على صورة حمّض الكربونيك. يتسبّب هذا الحمّض في ذوبان المواد في الصخر وتُجرَف النواتج الجانبية لهذه التفاعلات، التي تحتوي على كثيرٍ من الكربون، إلى المحيطات. وهناك، يصير بعض الكربون حبيسًا داخل صخر الكربونات، وحين تغوص الصفائح التكتونية إلى طبقة الوشاح مجدّدًا عند مناطق الاندساس، يمكن لبعضٍ من هذا الكربون (والكثير منه على صورة حجر جيري) أن يُدفَن في الوشاح لملايين الأعوام، بل ومليارات الأعوام. وبهذه الطريقة، تزيل سيور النقل التكتونية الكربون من الغلاف الجوي، ومن المفترض بهذا أن يقلّل في نهاية المطاف من مستويات الكربون الموجودة في الغلاف الجوّي ويؤدّي إلى برودة المناخ. ونعلم اليوم أن كمية الكربون المدفونة في طبقة الوشاح أكبر بكثير من الكربون الموجود على سطح الأرض أو في الغلاف الجوي.

بطبيعة الحال، إذا دُفن قدر أكبر مما ينبغي من ثاني أوكسيد الكربون داخل الأرض بهذه الطريقة، فمن شأن الأرض أن تتجمّد. غير أن هناك سمةً ثانيةً لمنظّم

الحرارة الجيولوجي تمنع حدوث ذلك (في معظم الأوقات). فحركة الصفائح التكتونية (وهي الآلية التي لا تعمل على الأرجح على كوكب المريخ المتجمّد)، تسبّب عودة ثاني أوكسيد الكربون إلى الغلاف الجوّي عند الصدوع المتباعدة، التي فيها ترتفع المادة الآتية من الوشاح، بما في ذلك ثاني أوكسيد الكربون، إلى السطح عبر البراكين. ثمة توازن بين جانبي هذه الآلية لأن درجات الحرارة المرتفعة تؤدّي إلى المزيد من سقوط الأمطار، وهذا يسرِّع من عملية التعرية، وينقل المزيد من الكربون إلى الوشاح. لكن لو بردت الأرض أكثر مما ينبغي، سيقلّ هطول الأمطار، وسيُدفَن قدر أقلّ من ثاني أوكسيد الكربون، وسترتفع مستويات ثاني أوكسيد الكربون نتيجة ضخّه عبر البراكين، وهذا سيؤدّي إلى ارتفاع الحرارة مجدّدًا. وقد عكف منظّم الحرارة الجيولوجي على التأقلم مع الدفء المتزايد لشمسنا على مدار أربعة مليارات عام.

بحسب علمنا، لا وجود لشيء كهذا في الكواكب الأخرى بالمجموعة الشمسية. ويعد كوكب الزهرة مثالًا لما كان من الممكن أن يكون عليه كوكب الأرض لو ظلّ قدر أكبر مما ينبغي من ثاني أوكسيد الكربون موجودًا في الغلاف الجوّي. واليوم، يحتوي الغلاف الجوّي للزهرة على كميات هائلة من ثاني أوكسيد الكربون، ويبدو الكوكب وكأنه عانى من تأثير دفيئة جامح، وسطح الزهرة ساخن بما يكفي لتبخير الماء وصهر الرصاص. أما كوكب المرّيخ فسلك الاتجاه المعاكس؛ فهو صغير للغاية بحيث يتعذّر على الجاذبية أن تحتفظ بغازات الدفيئة، لذا فهي تتسرّب بعيدًا، وقد برد الكوكب، وغالبية الماء الموجود عليه الآن هو على صورة جليد. وقد بيّنت العربة الجوالة كيوريوسيتي روفر، وهي تجوب سطح المريخ، أنه في وقت ما من الماضي، منذ مليارات الأعوام، تدفّق الماء على سطح الكوكب وربما ازدهرت صور بسيطة من الحياة. غير أن هذا الوقت ولّى وانقضى. وعلى أي حال، لا يبدو أن الزهرة أو المرّيخ توجد فيهما حركة صفائح تكتونية، وهو ما حرمهما من مكوِّن أساسي لتنظيم الحرارة. فقد كان المريخ أصغر من أن يحتفظ بالحرارة الداخلية المطلوبة لتحريك الصفائح، أما الزهرة فربما حُرم الصفائح، بسبب تبخير غالبية الماء، من المادة المائية المزلقة التي ساعدت الصفائح على الانزلاق إلى جوار، وأعلى وأسفل، بعضها البعض.

لم تكن آليّة تنظيم الحرارة الجيولوجية مثاليّة على الإطلاق، وفي بعض الأوقات كادت أن تتعطّل، وهو ما ترك تبعات فادحة على الغلاف الحيويّ. لكن في النهاية،

تطوّرت آليات أخرى احتياطيّة لتنظيم الحرارة، وهذه الآليات أوجدتها أنشطة الكائنات الحيّة. لذا علينا الآن التحوّل إلى دور الحياة في الغلاف الحيويّ بينما خطت الكائنات الحيّة إلى خشبة المسرح الجيولوجية وبدأت في استكشاف، في النهاية تغيير، العديد من أركانها وزواياها المختلفة.

وحدة الحياة

رغم الاختلافات العميقة بين التيرانوصور وبكتيريا الإشريكية القولونية، فإن الحياة في جوانبها المهمّة تتّسم بوحدة لافتة للنظر. فكلّ الكائنات الحيّة اليوم تربطها صلة قرابة وراثية. وكلّها تتشارك في الآلات الوراثية، خاصّة تلك التي تتولّى أداء مهمات التنظيم الداخلي، كالبرامج الفرعية في برنامج الكمبيوتر. وفي الخلايا، تتضمّن هذه المهمات وظائف مثل تفتيت جُزَيْئات الطعام من أجل الحصول على الطاقة منها، أو مكوِّناتها الكيميائية، أو نقل الطّاقة والذرّات. ولهذا السبب إذا نظرنا إلى الصورة على مستوى الخليّة، فمن الصعب التمييز بين الإنسان والأميبا.

واليوم، يستطيع البيولوجيون تتبّع العلاقات الوراثية بين كلّ الكائنات الحيّة عن طريق مقارنة التتابعات العملاقة لقواعد الأدينين والسيتوسين والجوانين والثايمين في الـ«دي إن آيه» الخاصّ بها. والقاعدة الأساسية هي أنه كلّما زاد التباعد بين أي جينومين، طالت الفترة التي انقضت منذ تشاركهما في سلف مشترك، ونعرف بالتقريب السرعة التي تباينت بها الأنواع المختلفة من الجينومات. وبهذا يمكننا أن نقول بقدر من الثقة إن البشر والشمبانزي تشاركا في سلف مشترك منذ نحو سبعة أو ثمانية ملايين عام مضت، بينما سلك البشر والموز طريقين وراثيين مختلفين منذ نحو ثمانمائة مليون عام. إن مقارنة الحمّض النووي للأنواع الحيّة المختلفة يمكّننا من بناء أشجار عائلة أكثر تفصيلًا، وربما أكثر دقة، من تلك المبنية على السجل الأحفوري وحده.

يصنّف البيولوجيون اليوم كلّ الكائنات الحيّة إلى ثلاثة نطاقات كبرى: العتائق والبكتيريا، وكلاهما تتألّفان من بدائيات النّوى وحيدة الخلايا، وحقيقيّات النوى، التي تتألف من كائنات وحيدة الخليّة أكثر تعقيدًا وكذلك

من كائنات عديدة الخلايا مثل البشر. لقد تطوّرت منظومة التصنيف الحديثة من أعمال التصنيف التي قام بها في القرن الثامن عشر البيولوجي السويدي كارل لينيوس، وقد جمع لينيوس كلّ الكائنات داخل فئات متداخلة. كان المستوى التصنيفي

الأدنى، النوع، يحتوي على مدخل وحيد، أما المستوى الثاني فهو الجنس، ويضم مجموعة من الأنواع القريبة ذات الصّلة. فالبشر، مثلًا، ينتمون إلى جنس ونوع «الإنسان العاقل»، وجنس الهومو (الأناسي) يتضمّن أسلافنا المنقرضين حاليًّا الإنسان الماهر والإنسان المنتصب (يعرف أيضًا باسم الانسان العامل). ومن هذه النقطة تصير المستويات التصنيفية أكثر رحابة على نحو متزايد، وبالترتيب التصاعدي لدينا الفصيلة ثم الرتبة ثم الصفّ (أو الطائفة) ثم الشعبة ثم المملكة ثم النطاق. وبهذا يمكننا القول إن البشر ينتمون إلى نوع الإنسان العاقل، وجنس الهومو، وفصيلة القردة العليا، ورتبة الرئيسيات، وصف (طائفة) الثدييّات، وشعبة الفقاريات، ومملكة الحيوان، ونطاق حقيقيّات النّوى.

من المؤكد أن أول الكائنات الحيّة تنوّعت بسرعة كبيرة، مع دخولها منطقة تطوّرية جديدة. وربما عاش بينها العديد من الكائنات الأشبه بالزومبي. وإليك بأحد الأوصاف للعالم الغريب للحياة المبكرة من تأريخ حديث للحياة على الأرض:

يمكننا التفكير في حديقة حيوان كبيرة من الكائنات الحيّة، وشبه الحيّة، والكائنات الآخذة في التطوّر في طريقها إلى أن تكون حيّة. ما الذي ستحتوي عليه حديقة الحيوان هذه؟ العديد من أنواع كائنات الحمّض النووي، أشياء لم يعد لها وجود وليس لها أسماء نتيجة لذلك. ويمكننا تخيّل تجميعات كيميائية معقّدة. وكل هذه المجموعات الهائلة من الكائنات الحيّة وشبه الحيّة كانت موجودة في منظومة بيئية منتعشة، فوضوية، يسودها التنافس؛ ذلك هو وقت التنوّع العظيم للحياة على الأرض.

في وقت مبكر من الدهر السحيق (الذي بدأ منذ أربعة مليارات عام)، صارت الآليات التكاثرية أكثر دقّة، والجينات أكثر استقرارًا، والحدود بين الكائنات الحيّة وشبه الحية أكثر وضوحًا. وهذه هي النقطة التي انطلق فيها الانتخاب الطبيعي بالمعنى الذي قصده داروين. حين انطلقت الحياة، لم يكن ثمّة ضمان لاستمراريتها. ربما استضافت الزهرة والمريخ أشكالًا بسيطة من الحياة. لكن حتى لو كان هذا قد حدث، فقد انتهت الحياة تمامًا على سطح كلا الكوكبين. وحتى على الأرض، اعتمد بقاء قشرة الحياة الرقيقة لأربعة مليارات عام على سَير العديد من الأشياء بالصورة الصحيحة.

بدائيات النّوى: عالمٌ من الكائنات الوحيدة الخلايا

كانت أولى الكائنات الحيّة تنتمي على الأرجح إلى نطاق العتائق، وإن كانت الكائنات من النطاق الثاني، البكتيريا، قد ظهرت مبكرًا بالمثل. كلا النطاقين يتألف بالكامل من بدائيات النّوى، وهي كائنات دقيقة الحجم وحيدة الخلايا لم تكن تحتوي على نواة منفصلة أو أيٍّ من العضيَّات الخلويّة المتخصّصة الأخرى. هيمنت بدائيات النّوى على الغلاف الحيوي لأكثر من سبعة أثمان تاريخه، حتى ستمائة مليون عام مضت. وإذا حدث أن قابلنا كائنات حيّة في موضع آخر من المجَرّة، فعلى الأرجح لن نصافحها بالأيدي وإنما سننظر إليها عبر ميكروسكوب.

إن بدائيات النّوى شديدة الضآلة، إلى درجة أن من الممكن أن يحتشد مائة ألف منها داخل النقطة التي تنتهي بها هذه العبارة. وجينات بدائيّات النّوى تهيم بحرية في حلقات وأغشية داخل الكتلة الجُزَيْئية المالحة للسيتوبلازم الخاصّ بها، وبذا فإن الـ«دي إن آيه» الخاص بها يكون عرضة للصدمات، شأن كل شيء آخر داخل السيتوبلازم، ومن الممكن أن يتعرّض للتلف أو التغيير بسهولة. بل ومن الممكن أن تغادر شذرات من المادّة الوراثية عبر غشاء الخليّة وتهاجر إلى خليّة أخرى. وفي عالم بدائيّات النّوى، العديد من أجزاء المادّة الوراثية تنتقل أفقيًّا بهذه الصورة، بين أفراد لا علاقة بينهم، وكذلك رأسيًّا من والد إلى ذريّته. تتبادل بدائيات النّوى الجينات بالطريقة عينها التي نتبادل نحن البشر بها الأسهم والسندات، ولهذا السبب فإن فكرة النوع من الصعب تحديدها في عالم بدائيّات النّوى مقارنة بعالمنا.

واليوم، لا تزال بدائيّات النّوى تهيمن على الغلاف الحيويّ. وعلى أجسامنا وفي داخلها، يوجد على الأرجح من الخلايا بدائيّة النّوى عدد يفوق عدد الخلايا التي تحمل الحمّض النووي الخاصّ بك. غير أننا نتجاهلها (إلى أن تتسبّب في إصابتنا بألم المعدة أو البرد) لأنها أصغر كثيرًا من خلايانا. وهذا العالم السرّي الشاسع الذي نتشاركه مع بدائيّات النّوى يعرف باسم الميكروبيوم.

حتى وقت قريب، كان من المُغري الظنّ بأن تاريخ الخلايا وحيدة الخليّة كان مملًّا، وبذا يمكننا بأريحيّة التغاضي عن الثلاثة مليارات عام الأولى من تاريخ غلافنا الحيوي. لكننا اليوم نعرف أننا لن نستطيع فهم التاريخ الحديث لغلافنا الحيوي من دون أن نفهم أولًا الحقبة الأطول الخاصّة بصور الحياة البسيطة. ومع تطوّر بدائيّات النوى، فإنها اكتسبت العديد من الحيل الجديدة التي مكّنتها من

استغلال البيئات المختلفة، ولا نزال نستخدم العديد من الأساليب البيوكيميائية التي كانت بدائيّات النّوى أول من استخدمها.

جميع بدائيّات النوى باستطاعتها معالجة المعلومات. بل ويمكنها التعلم بمعنًى ما. ومغروس داخل أغشيتها آلاف المستشعرات الجُزَيْئية التي يمكنها رصد تدرّجات الضوء والحمضية، واستشعار متى يوجد غذاء محتمل أو مسممات على مقربة، ومعرفة ما إذا كانت قد اصطدمت بشيء صلب. المستشعرات مصنوعة من بروتينات تمتلك، شأن كل الإنزيمات، مواقع ارتباط تلتصق بجُزَيْئات محدّدة على الأجزاء الخارجية من الخلية أو تتفاعل مع التغيّرات في الضوء أو الحمضيّة أو درجة الحرارة. وبمجرّد أن ترصد هذه البروتينات شيئًا ما، فإن شكلها يتغيّر قليلًا، وهذا يرسل إشارة إلى الجزء الداخلي من الخلية. على سبيل المثال، تمتلك بكتيريا الإشريكية القولونية، التي جرت دراستها دراسة مكثفة، أربعة أنواع مختلفة من الجُزَيْئات المستشعرة مغروسة داخل أغشيتها، ويمكنها معًا رصد نحو خمسين نوعًا من الأشياء النافعة أو الضارّة في البيئة المحيطة بها. وبمجرّد أن ترصد المستشعرات شيئًا ما، تستطيع الخليّة القيام باختيار. فعلى سبيل المثال، يمكنها أن تقرّر السماح بعبور جُزَيْئات معيّنة عبر جدرانها الغشائية (لأنها تبدو أشبه بالغذاء)، أو إبقاءها بعيدًا (لأنها تبدو من المسمّمات). من الممكن أن تكون عملية اتّخاذ القرار بسيطة للغاية، وربما تكون مبنية على عدد صغير للغاية من المدخلات وتتطلّب فقط إجابة بنعم أو لا. «أينبغي السماح لهذا الجُزَيْء بالدخول أم لا؟»، أو «الحرارة تزداد إلى درجة لا تحتمل في الخارج، هذا مقيت! أينبغي أن أتحرّك؟». لكن حتى أبسط المستشعرات ترسم، في واقع الأمر، خرائط للبيئة المحيطة بالخلية. وبمجرد الوصول إلى قرار بالتحرّك، سيتم تنشيط أي أدوات تمتلكها الخلية للتحكم في الحركة. بالنسبة إلى العديد من أنواع البكتيريا، يوجد شيء أشبه بالمجسّ الدوّار، أو السوط، الذي يعمل عمل الرقّاص. تمتلك بكتيريا الإشريكية القولونية ستة من هذه الزوائد الأشبه بالسياط مغروسة في أغشيتها، وكل واحد منها مؤلّف من عشرين مكوّنا مختلفًا ويمكنه الدوران بضع مئات المرّات في الثانية الواحدة، وتحرّكه الطاقة الآتية من تدرّجات البروتينات على امتداد أغشيتها. وعند الحاجة، تستطيع السياط الدوران معًا بحيث تكون الحركة أكثر توجيهًا. إن الرابط بين المستشعرات الموجودة في الغشاء والسياط يعني أن بكتيريا الإشريكية القولونية في واقع الأمر لديها ذاكرة قصيرة المدى. ربما تدوم الذاكرة لعدد قليل من الثواني

لكنها قويّة بما يكفي بحيث تقول: «لا مشكلة، لا شيء يجب فعله!»، أو «هذا ليس جيدًا، أيتها السياط ابدأي في الحركة!». وذاكرة المدى القصير مبنية على تغيرات ضئيلة في المستشعرات والمواد الكيميائية التي تطلقها.

هذه أداة بسيطة لمعالجة البيانات، لكننا نمتلك بالفعل المكوِّنات الثلاثة لكل عمليات معالجة المعلومات البيولوجية: المدخلات، والمعالجة، والمخرجات.

منحت إدارة المعلومات لبدائيات النّوى مزيدًا من السيطرة على التدفّقات المحلّية من الطاقة. ومع مرور الوقت، تطوّرت بدائيّات النّوى بحيث صارت تستطيع السيطرة على الطاقة وإدارتها داخل العديد من البيئات المتنوّعة في محيطات الأرض. كانت أولى بدائيّات النوى على الأرجح كيميائيّة التغذية وحسب، وهذا يعني أنها كانت تحصل على طاقتها من التفاعلات الجيوكيميائية بين الماء والصخور، والتي كانت تطلق مواد بسيطة على غرار كبريتيد الهيدروجين والميثان، وهذه هي الطاقة الكيميائية التي كان بوسعها استخدامها. غير أن الموادَّ الكيميائية سهلة الهضم التي يمكنها إفراز قدر يسير من الطّاقة كانت محدودة داخل المحيطات المبكرة، وكانت متاحة بسهولة فقط في بيئات نادرة مثل الشقوق الموجودة في قاع المحيط، وقد قيّدت هذه

الحدود احتمالات الحياة على الأرض. وفي وقت مبكر، عرفت بدائيّات النّوى كيف تلتهم بدائيّات النّوى الأخرى، وكانت هذه هي أولى الكائنات غيريّة التغذية في الغلاف الحيوي، وهو مكافئ اللواحم أمثال التيرانوصور لدى بدائيات النوى. أنا وأنت أيضًا من الكائنات غيرية التغذية، فنحن نحصل على طاقة الغذاء عن طريق التهام كائنات أخرى، وليس عن طريق استهلاك المواد الكيميائية. لكن حتى التهام الكائنات الأخرى له حدوده إذا كان الغلاف الحيوي بأسره يعتمد على سلسلة طاقة أصلها داخل المحيطات.

التمثيل الضوئي: كنزٌ وثورة من الطاقة

منذ نحو ٣,٥ مليارات عام، سمح ابتكار تطوّري جديد، هو التمثيل الضوئي، لبعض الكائنات باستغلال تدفّقات الطاقة الآتية من الشمس. كان هذا هو الكنز الأول الذي تعثر عليه الحياة، وكان تأثيره على بدائيّات النّوى يعادل العثور على منجم من الذهب.

إن فوتونات الضوء الآتية من الشمس تمتلك طاقة أكبر بآلاف الأضعاف من طاقة الفوتونات المنهكة الموجودة في إشعاع الخلفيّة الكونيّ. وقد غيّر استغلال هذا التيار الهائل من الطاقة قواعد اللعبة تمامًا. فمن الآن وصاعدًا، رغم أن الحياة ستواصل إعادة تدوير المادّة التي استخدمتها (ومن هنا يأتي اهتمام العلماء بتدفّقات الكربون والنيتروجين والفوسفور)، فقد بدت الطاقة وكأنها غير محدودة تقريبًا. فالخلايا الحيّة أضحت تمتلك الآن الطاقة التي تمكّنها من إدراك نفسها والبيئة المحيطة بها على مستوى جديد بالكامل، وقد انتشرت الكائنات الحيّة على نطاق أوسع كثيرًا وزاد نطاق الحياة أضعافًا مضاعفة.

كيف استخدمت الكائنات الحيّة ضوء الشمس؟ هناك أنواع عديدة من تفاعلات التمثيل الضوئي التي تحوِّل ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية بدرجات متفاوتة من الكفاءة وتطلق نواتج جانبيّة مختلفة. كل هذه الأنواع تستخدم الفوتونات ذات الطاقة العالية الآتية حديثًا من الشمس في دفع الإلكترونات الموجودة داخل الجُزَيْئات الحسّاسة للضوء كالكلوروفيل. يتسبّب هذا في منح الإلكترونات صدمة بحيث تقفز من ذراتها الأم ثم تُختطَف على يد بروتينات وهي تحاول التملّص طوال الوقت. تمرّر البروتينات الإلكترونات عالية الطّاقة عبر أغشية الخلايا بصورة تشبه فرقة الإطفاء التي تستخدم الدلاء. ينتج هذا تدريجًا كهربيًّا عبر الغشاء يمكن استخدامه في شحن الجُزَيْئات الحاملة للطاقة مثل الأدينوسين ثلاثي الفوسفات. إنها عملية التناضح الكيميائي مجدّدًا، لكن هذه المرة الطاقة التي تشحن جُزَيْئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات لا تأتي من جُزَيْئات الطعام وإنما من ذلك المولّد الهائل الموجود في السماء: الشمس.

تلك هي المرحلة الأولى في كل صور التمثيل الضوئي. وفي المرحلة الثانية، تُستخدَم الطاقة المختزنة، عبر سلسلة من التفاعلات الكيميائية المعقّدة التي تتفاوت بشدة في كفاءتها، في القيام بعمل داخل الخليّة أو في تكوين جُزَيْئات على غرار الكربوهيدرات التي يمكنها تخزين الطّاقة للاستخدام المستقبلي. إن الصّور الأولى من التمثيل الضوئي لم تنتج الأوكسيجين كمنتج جانبي، وكانت تعمل بكفاءة تامّة في عالم خالٍ من الأوكسيجين، وربما استخدمت الطاقة المقتنصة من ضوء الشمس في سرقة الإلكترونات من كبريتيد الهيدروجين (الغاز ذو الرائحة التي تشبه البيض الفاسد)، أو من ذرّات الحديد الذائبة في المحيطات المبكرة.

حتى أبسط الأشكال المبكرة من التمثيل الضوئي وفّرت مخزونًا ثوريًّا جديدًا من الطّاقة، وربما زاد مقدار الحياة في المحيطات المبكرة بحيث وصل إلى ١٠ بالمائة من مستوياته اليوم. وقد تعيّن على بدائيات النّوى التي عاشت على التمثيل الضوئي أن توجد على مقربة من سطح المحيطات أو على الشواطئ. وقد شكّل العديد منها بنى شبيهة بالمرجان تعرف بالستروماتوليت، والتي نمت مشكِّلة حيودًا عند حواف القارات مع تراكم مليارات من الكائنات فوق طبقات متزايدة السمك من أسلافها الميتة. لا تزال الستروماتوليت موجودة في عدد قليل من البيئات الخاصّة، مثل خليج القرش على ساحل غرب أستراليا، وهي نادرة الوجود اليوم، لكن منذ الوقت الذي ظهرت فيه، منذ أكثر من ٣,٥ مليارات عام مضت، وحتى ٥٠٠ مليون عام مضت -أي أكثر من نصف تاريخ الكوكب كلّه- كانت على الأرجح أكثر أشكال الحياة بروزًا على كوكب الأرض. وإذا جاءت كائنات فضائية بهدف البحث عن حياة على هذا الكوكب، لوجدوا الستروماتوليت على الأرجح، وربما هذا ما سنجده حين نعثر على الحياة للمرّة الأولى على سطح الكواكب الصخريّة في المجموعات الشمسيّة الأخرى.

وفي النهاية، تطوّرت أشكال جديدة من التمثيل الضوئي في مجموعة من الكائنات تعرف بالبكتيريا الزرقاء أو الزراقم. وهذه الأشكال من التمثيل الضوئي يمكنها استخلاص قدر أكبر من الطاقة باستخدام الماء وثاني أوكسيد الكربون كمواد خام أساسية. كان اقتناص الإلكترونات المتحرّرة من جُزَيْئات الماء أصعب من اقتناصها من كبريتيد الهيدروجين أو الحديد. لكن إذا أمكنك عمل ذلك، فستحصل على قدر أكبر من الطاقة، وبالطبع سيكون الماء مصدرًا أكثر وفرة بكثير للطاقة. وباستخدام الطّاقة المقتنصة من ضوء الشمس، قامت هذه الكائنات ذات التمثيل الضوئي المتقدّم بتحطيم جُزَيْئات الماء وتجريد ذرات الهيدروجين من إلكتروناتها، وبعد ذلك أضافت الإلكترونات المقتنصة إلى جُزَيْئات ثاني أوكسيد الكربون كي تشكّل جُزَيْئات الكربوهيدرات، التي عملت عمل مخازن طاقة هائلة. أما الأوكسيجين المتحرّر من جُزَيْئات الماء فقد انطلق كمخلّفات لهذه العمليّة. والمعادلة العامة لهذا النوع المُنتِج للأوكسيجين من التمثيل الضوئي هي: ماء + ثاني أوكسيد الكربون + طاقة من ضوء الشمس ← $CH2O$ (كربوهيدرات تعمل عمل مخازن الطاقة) + أوكسيجين (جُزَيْئات أوكسيجين تتحرّر في الغلاف الجوي). لقد كان التمثيل الضوئي المُنتِج للأوكسيجين أكثر كفاءة بكثير من أشكال التمثيل الضوئي

المبكرة لكنه لم يستخلص إلا ٥ بالمائة فقط من طاقة ضوء الشمس، وهو مقدار أقل من أكثر الألواح الشمسية كفاءة اليوم. إن التمثيل الضوئي يدفع ضريبة هدر كبيرة للإنتروبيا على صورة طاقة مهدورة داخل الخليّة وكذلك الطاقة والمواد التي يحملها الأوكسيجين معه.

ربما تطوّر التمثيل الضوئي المُنتِج للأوكسيجين، وهو نوع التمثيل الضوئي الذي تستخدمه كل الزراقم الحديثة، منذ ٣ مليارات عام. يشير إلى حدوث ذلك ما لدينا من أدلة على حدوث «نفثات» قصيرة من مستويات الأوكسيجين المتزايدة حتى قبل نهاية الدهر السحيق، منذ مليارين ونصف المليار عام. لكن في البداية، أي أوكسيجين جرى إطلاقه كان يُمتَص بسرعة من جانب كبريتيد الهيدروجين أو الحديد أو ذرات الهيدروجين الحرّة، لأن الأوكسيجين تواقٌ للإلكترونات وسوف يتّحد بلهفة مع أي عنصر به إلكترونات زائدة. لهذا السبب يقال إن الإلكترونات التي تُسلَب إلكتروناتها تتأكسد. (الذرّات ذات الإلكترونات الفائضة يقال إنها تُختَزَل، والتفاعلات الكيميائية العديدة التي تتضمّن كلتا العمليتين تُعرَف باسم تفاعلات الأكسدة-الاختزال). ومن الأدلة القوية على تطوّر أول الزراقم هو اختفاء الصخور المسامية الغنية بالبيريت (ذهب الحمقى) منذ ثلاثة مليارات عام، وهذا المعدن يصدأ في وجود الأوكسيجين الحر، مثل الحديد. غير أن ثمّة حدًّا للمقدار الذي يمكن امتصاصه من الأوكسيجين بهذه الآليات، وبداية منذ ٢,٤ مليار عام مضت بدأت مستويات الأوكسيجين في الغلاف الجوي ترتفع بسرعة، من أقل من ٠,٠٠١ بالمائة من المستويات الحالية إلى نحو ١ بالمائة منها أو أكثر.

إن ظهور الغلاف الجوّي الغني بالأوكسيجين منذ مليارين ونصف المليار عام تقريبًا (وهو الحدث المعروف ب»حدث الأكسجة العظيم») غيّر وجه الغلاف الحيوي جذريًّا؛ فقد غيّرت مستويات الأوكسيجين المرتفعة من كيمياء الغلاف الحيوي، بل ومن المستويات العليا للقشرة الأرضية، وأطلقت الطّاقة الكيميائية الاستثنائية للأوكسيجين الحرّ تفاعلات كيميائية جديدة أوجدت المزيد من المعادن الموجودة على كوكب الأرض اليوم. وفي الغلاف الجوي، اتّحدت ذرات الأوكسيجين معًا وكوّنت جُزَيْئات الأوزون ذات الذرّات الثلاث، O_3، والذي بدأ في حماية سطح الأرض من الإشعاع فوق البنفسجي الشمسي ولا يزال يقوم بهذا إلى اليوم. وربما بدأت بعض الطحالب، المتمتّعة بحماية طبقة الأوزون، في استعمار اليابسة للمرّة الأولى. فحتى ذلك الوقت، كانت قارات كوكب الأرض

جدباء تمامًا؛ إذ كان يغمرها إشعاع شمسي من شأنه تمزيق أي بكتيريا تجرؤ على التواجد على اليابسة.

شكّل تراكم الأوكسيجين صدمة للكائنات الحيّة، لأن الأوكسيجين كان سامًّا لغالبيتها. ولهذا فقد تسببت مستويات الأوكسيجين المرتفعة في ما أطلقت عليه لين مارجوليس «هولوكوست الأوكسيجين». هلك العديد من الكائنات، وتلك التي لم تمت تراجعت إلى بيئات محمية في المستويات الأعمق ذات مستويات الأوكسيجين الشحيحة من المحيطات، أو حتى داخل الصخور.

لقد أتلف الأوكسيجين المتزايد آلية تنظيم الحرارة لكوكب الأرض لأنه حتى ذلك الوقت لم تكن توجد
آلية يمكنها امتصاص الأوكسيجين الزائد، لذا هدّد تراكم الأوكسيجين بخروج الأمور عن السيطرة. لقد تسبّب الأوكسيجين الحرّ في تفتيت غاز الميثان الموجود في الغلاف الجوي، وهو أحد أقوى غازات الدفيئة، بينما استهلكت الزراقم التي تقوم بالتمثيل الضوئي كميات هائلة من غاز الدفيئة الآخر، ثاني أوكسيد الكربون. ومع ارتفاع مستويات الأوكسيجين وانخفاض مستويات غازات الدفيئة، في وقت مبكر من دهر الطلائع، تجمّدت الأرض في واحدة من فترات التجمد العديدة التي مرت بها. انتشرت الأنهار الجليدية من القطبين إلى خط الاستواء، وحوّلت الأرض إلى اللون الأبيض، وعَكَسَ اللون الأبيض للأرض مزيدًا من ضوء الشمس، وهو ما سبب برودة السطح بدرجة أكبر في دائرة مفرغة مفزعة ذاتية التعزيز. وفي النهاية، غطى الجليد غالبية محيطات وقارات الأرض. وقد استمرّ الغمر الجليدي لمائة مليون عام، منذ نحو ٢,٣٥ ملياري عام إلى ٢,٢٢ ملياري عام مضت.

نجت الحياة بالكاد. فالكائنات التي كان الأوكسيجين سامًّا لها هلكت أو اختبأت في أعماق المحيطات. غير أن الكائنات التي أمكنها التأقلم مع الأوكسيجين عانت في عالم غطّت فيه الأنهار الجليدية اليابسة والمحيطات، وحجبت ضوء الشمس الضروري من أجل التمثيل الضوئي. كادت الحياة تفنى، إذ تراجعت غالبية أشكال الحياة تحت الجليد وتجمّعت معًا طلبًا للدفء حول البراكين الموجودة تحت المحيط.

غير أن الأرض لم تسلك نفس مسلك المريخ بحيث صارت أبرد من أن تستضيف الحياة. ويرجع الفضل في هذا إلى آلية تنظيم الحرارة الجيولوجية التي تدفعها حركة الصفائح التكتونية، التي تجدّدها وتكملها الأساليب البيولوجية الجديدة التي اعتمدت على أنشطة الكائنات التي تقوم بالتمثيل الضوئي. أعاقت الأنهار الجليدية

عملية التمثيل الضوئي، وهو ما قلّل من إنتاج الأوكسيجين. في الوقت ذاته، وتحت الأنهار الجليدية، واصلت البراكين المحيطية ضخ ثاني أوكسيد الكربون وغيره من غازات الدفيئة إلى المحيط. بدأت غازات الدفيئة في التراكم أسفل الجليد إلى أن اخترقت في النهاية الأنهار الجليدية، وصار سطح الأرض دافئًا مرة أخرى. انخفضت مستويات الأوكسيجين إلى نحو ١ أو ٢ بالمائة من الغلاف الجوي، وأعقبت ذلك فترة طويلة، تناهز المليار عام، ظلّت خلالها مستويات الأوكسيجين منخفضة وظلّ المناخ دافئًا. لقد بدا أن آلية ضبط الحرارة الأرضية قد أعيد ضبطها كي تتأقلم مع وجود مستويات ضخمة من الأوكسيجين في الغلاف الجوي، ذلك الأوكسيجين الذي أنتجته الزراقم.

حقيقيّات النّوى تنقذ الموقف

هل كان هذا حلًّا طويل الأمد؟ ألم تعد هذه الآليات بتعرّض المجال الحيوي إلى تقلّبات حادة بين الحرارة الشديدة والبرودة القارصة؟ إذا كان الأمر كذلك، لماذا ظلّت المناخات مستقرّة خلال الفترة الممتدة بين ملياري عام ومليار عام مضت؟ لقد أنقذت الآليات البيولوجية الجديدة الموقف عن طريق تطوير أنواع من الكائنات أكملت آلية تنظيم الحرارة الأرضية عن طريق امتصاص الأوكسيجين الموجود في الهواء. وهذه الكائنات، أولى الخلايا حقيقية النوى، لم تساعد وحسب في استقرار درجات الحرارة العالمية، بل إنها أحدثت ثورة بيولوجية من شأنها أن تسمح بتطوّر كائنات أكبر مثلي ومثلك.

حتى الآن، كانت كلّ الكائنات الحيّة عبارة عن بدائيات نوى أحادية الخلية تقع في نطاق العتائق أو البكتيريا. إن ظهور نطاق ثالث من أشكال الحياة، حقيقيّات النّوى، يهمنا كثيرًا لأن كل الكائنات الحيّة الكبيرة، بما فيها أنفسنا، مؤلّفة من خلايا حقيقية النوى. كانت هذه الخلايا أولى الخلايا التي تستطيع استخدام الأوكسيجين على نحو منهجي، واستغلّت الطاقة الكيميائية الطاغية في عملية تعرف باسم التنفّس. إن التنفّس عملية معاكسة للتمثيل الضوئي، وهي تعدّ وسيلة لتحرير الطاقة الشمسية المقتنصة والمختزنة في الخلايا عن طريق التمثيل الضوئي. وبينما يستخدم التمثيل الضوئي طاقة ضوء الشمس في تحويل ثاني أوكسيد الكربون والماء إلى كربوهيدرات تخزن الطاقة، مطلقًا الأوكسيجين كمخلّفات لهذه العملية، فإن التنفّس يستخدم الطاقة الكيميائية للأوكسيجين في اختلاس الطاقة المختزنة في

الكربوهيدرات، تاركًا ثاني أوكسيد الكربون والماء كمخلّفات لهذه العملية. والمعادلة العامة للتنفس هي: كربوهيدرات + أوكسيجين ← ثاني أوكسيد الكربون + ماء + طاقة.

ومثل التمثيل الضوئي، كان تطوّر التنفّس بواسطة حقيقيّات النوى بمنزلة منجم ثراء من الطاقة؛ لأنه منح هذه الكائنات الجديدة فرصة الوصول إلى طاقات كيميائية ضخمة من الأوكسيجين، لكن بجرعات ضئيلة حميدة لم تسبّب الضرر لها. فالتنفّس يمنحك طاقة النيران من دون الدمار المصاحب لها. وعن طريق استخدام الأوكسيجين ببراعة، يستطيع التنفّس استخلاص قدر أكبر بعشر مرات من الطاقة من الجُزَيْئات العضوية مقارنة بالطرق السابقة التي لم تعتمد على الأوكسيجين لتفتيت جُزَيْئات الطعام. وفي وجود مزيد من الطاقة لتشغيل عملية الأيض، ربما زادت معدلات التكاثر الرئيسية -إنتاج الكائنات الحيّة- بما يتراوح بين عشرة أضعاف وألف ضعف.

تشير الأدلة الوراثية إلى أن أول الكائنات حقيقي النوى قد تطوّر منذ نحو ١,٨ مليار عام. وبينما تكاثرت، واستهلكت المزيد والمزيد من الأوكسيجين، فإنها أطلقت ثاني أوكسيد الكربون مجددًا إلى الغلاف الجوي كمخلّفات لعملية التنفّس. وهنا نرى بداية آلية تنظيم حرارة كوكبية جديدة يجري التحكّم بها بيولوجيًّا. فقد بدأت حقيقيّات النوى في إزالة الكثير من أوكسيجين الغلاف الجوي الذي أنتجته الزراقم، وساعد هذا في تفسير لماذا كانت المناخات مستقرة خلال غالبية دهر الطلائع. وفي الواقع، كانت المناخات شديدة الاستقرار إلى درجة أن بعض علماء الحفريات يشيرون إلى الحقبة الممتدّة بين ملياري عام ومليار عام مضت بوصفها «المليار عام المملّة».

إن البيولوجيين المعاصرين يرون الفاصل بين الخلايا بدائية النوى والخلايا حقيقية النوى باعتباره الفاصل الأكثر جوهرية في علم الأحياء. فالخلايا حقيقية النّوى أكبر كثيرًا من غالبية الخلايا بدائيّة النّوى، ومن الممكن أن تكون أعرض بعشرات أو مئات المرّات، وبذا يمكن أن يكون حجمها الإجمالي أكبر بآلاف المرّات. وفي حقيقيات النّوى، تتشكّل أغشية داخل الخلايا وكذلك حولها، بحيث تنشئ حجيرات منفصلة، مثل غرف المنزل، وفيها يمكن لأنشطة مختلفة أن تحدث. هذا يسمح بالتخصّص، تقسيم داخلي للعمل كان مستحيلًا بالنسبة إلى بدائيات النّوى. واحدة من هذه الحجيرات، النواة، تحمي المادة الوراثية لكل حقيقيّات النّوى. وفي الواقع،

كلمة حقيقيّة النّوى، eukaryote مشتقّة من كلمة إغريقية بمعنى «البذرة» أو «النّواة». وقد ضمنت النواة المحمية أن الـ«دي إن آيه» الخاصّ بحقيقيات النوى كان أكثر استقرارًا من ذلك الخاص ببدائيات النّوى. ومن الممكن كذلك تخزينه بكميات كبيرة ونسخه بسهولة، وبذا يكون لدى حقيقيات النوى مزيدًا من المادة الوراثية للتحكّم بها. ويفسر هذا لماذا ستتطوّر حقيقيات النوى على نحو مبهر مقارنة ببدائيات النوى. كما تحتوي حقيقيات النوى أيضًا على العديد من العضيات الداخلية، وكأنها نسخ مصغّرة من القلوب والأكباد والأدمغة لدى الحيوانات. وأهم هذه العضيات هي الميتوكوندريا التي تستخدمها بعض حقيقيّات النّوى في استغلال الطّاقة الثرية للأوكسيجين، والبلاستيدات الخضراء التي تستخدمها حقيقيّات نوى أخرى في استغلال طاقة ضوء الشمس عن طريق التمثيل الضوئي.

تمتّعت حقيقيّات النوى أيضًا بقدرات جديدة لمعالجة المعلومات والتحكّم الجسدي، وهو ما يعني أنه كان بإمكانها الاستجابة بطرق أكثر تعقيدًا للتغيّرات في البيئة المحيطة بها. كان البراميسيوم وحيد الخلية، وهو من حقيقيات النوى، يمتلك حيلة فعّالة للتعامل مع العقبات. فإذا اصطدم بعقبة، فإنه يتراجع، ويستدير لبضع درجات، ثم يتحرّك إلى الأمام مجدّدًا، مكرّرًا حركة الذهاب والإياب هذه، مثل السائق السيئ الذي يحاول ركن سيارته، إلى أن يجد نفسه لا يرتطم بشيء. وهو يستخدم المعلومات المتعلّقة ببيئته المحيطة كي يوجّه نفسه داخل العالم، ويتجنّب الأخطار، ويعثر على الطاقة والغذاء.

كيف تطوّرت أولى الخلايا حقيقيّة النوى؟ أوضحت البيولوجية لين مارجوليس أنها لم تتطوّر عن طريق المنافسة وإنما عن طريق نوع من الاندماج بين نوعين قائمين من حقيقيّات النّوى. فمن الشائع لأنوع مختلفة أن تتعاون معًا عبر الآلية المعروفة بالتكافل. واليوم، يمتلك البشر علاقات تكافلية حيوية مع القمح والأرز والماشية والأغنام وغيرها من الأنواع. غير أن مارجوليس كانت تتحدّث عن نوع أشدّ جذرية من التكافل، نوع ينتهي فيه الحال ببكتيريا كانت مستقلة في ما سبق، بما فيها أسلاف الميتوكوندريا الحديثة، بالعيش داخل خليّة لأحد العتائق. وقد أطلقت مارجوليس على هذا اسم «التعايش الداخلي». من الوهلة الأولى بدت فكرتها مجنونة، لأنها كانت تتعارض مع بعضٍ من المفاهيم الأكثر جوهرية بشأن التطور عن طريق الانتخاب الطبيعي، غير أن غالبية البيولوجيين يقبلون حججها الآن.

الدليل الأهم على حدوث التعايش الداخلي هو الحقيقة الغريبة المتمثّلة في أن بعضًا من العضيات داخل حقيقيات النوى لها حمض نووي خاص بها، وهذا الحمض النووي مختلف بدرجة كبيرة عن المادة الوراثية الموجودة في النواة. وقد أدركت مارجوليس أن ثمّة عضيات، مثل الميتوكوندريا التي تدير الطاقة في الحيوانات والبلاستيدات الخضراء التي تدير عملية التمثيل الضوئي في النباتات حقيقية النّوى، تبدو وكأنها كانت في ما سبق خلايا مستقلّة حقيقية النّوى. لا يزال من غير الواضح كيف انتهى بها الحال داخل خلايا أخرى، وذهب البعض إلى أن عمليات الدمج هذه من المؤكّد أنها نادرة الحدوث. وإذا صح هذا، فهو يعني على الأرجح أنه حتى لو كانت الكائنات الشبيهة بالبكتيريا شائعة في الكون، فإن الكائنات الشبيهة بنا ربما تكون نادرة الوجود للغاية، لأنه، في كوكبنا على الأقل، وحدها حقيقيات النّوى تستطيع بناء كائنات كبيرة الحجم.

يخبرنا اكتشاف مارجوليس للتعايش الداخلي بشيء عن تاريخ الحياة. فالتطوّر ليس مسألة منافسة وحسب، كما أنه ليس عملية انفصال متواصلة مع ظهور أنواع جديدة. فنحن نرى أيضًا التعاون، والتكافل، بل والتقارب، وهذا يعني أن علينا إعادة النظر في الصورة المجازية التقليدية التي تصوّر الحياة كشجرة، لأننا حتى لو فكّرنا في نطاقات الحياة الثلاثة، فالأمر يبدو وكأن النطاق الثالث، حقيقيات النوى، لم يتطوّر عن طريق التباعد المتواصل وإنما التقارب بين العتائق والبكتيريا؛ وكأن فرعَا شجرة قديمة قد اتحدَا معًا مجدّدًا.

وكما لو أن هذا ليس غريبًا بما يكفي، فقد امتلكت حقيقيّات النوى حيلة أخرى بارعة: الجنس. فشأن كل الأنواع، تمرّر بدائيات النوى جيناتها إلى ذريتها. وغالبيتها تنقسم إلى قسمين وتمرّر جيناتها عن طريق التكاثر اللاجنسي. لكن كما رأينا فمن الممكن أن تنتقل جينات بدائيات النوى بشكل جانبي بينما تنتقل شذرات من الـ«دي إن آيه» والـ«آر إن آيه» من كائن إلى آخر، وتعثر على موطن جديد داخل خلايا أخرى. فبدائيّات النّوى تتشارك الجينات بالطريقة نفسها التي يتشارك بها البشر كتب المكتبة. غير أن لحقيقيّات النوى طريقةً مختلفةً وأكثر تعقيدًا لتمرير جيناتها، وهي تمرّرها إلى ذريتها وحسب، وليس إلى الغرباء.

ففي حقيقيّات النّوى توجد المادّة الوراثية داخل النواة التي تشبه القبو المحمي. وهذه المادة لا تُطلَق إلا في ظلّ أشد الشروط صرامة، باستخدام قواعد أقل فوضوية وأكثر تنظيمًا من تلك التي تحكم بدائيّات النّوى، وهذه القواعد تؤثّر على

الكيفية التي تتطوّر بها حقيقيّات النوى. فعندما تنتج حقيقيات النوى الخلايا الجنسية البويضات والحيوانات المنوية، تلك الخلايا التي سيتكون منها النسل- فإنها لا تنسخ حمّضها النووي وحسب، بل هي تمزجها أولًا، وهي تتبادل بعضًا من مادتها الوراثية مع فرد آخر من نفس نوعها بحيث يحصل نسل كلا الأبوين على خليط عشوائي من الجينات، نصفه من أحد الوالدين والنصف الثاني من الآخر. إن الآليات الوراثيّة والفيزيائيّة متضمّنة في هذه الرقصة المتقدّمة شديدة التعقيد، غير أن النتيجة هي إضافة نكهة جديدة إلى التطور. كانت التفاوتات الوراثية البسيطة والعشوائية مضمونة في كل جيل، لأنه حتى لو كانت الجينات متطابقة (فعلى أي حالٍ كلا الوالدين ينتميان إلى النوع ذاته)، فإن عددًا ضئيلًا كان مختلفًا على الدوام. وفي ظل وجود مزيد من التفاوت للاختيار منه، كان لدى التطوّر مزيدًا من الخيارات. ولهذا السبب يبدو التطور وكأنه قد تسارع عبر المليار عام الماضية. فقد مهّدت المليار عام المملة التي سادت دهر الطلائع الطريق لوقت أكثر إثارة بكثير؛ دهر البشائر، عصر الحياة المعقّدة.

الفصل السادس : الحياة المعقّدة والغلاف الحيوي

ربما تكون الحيوانات هي النثار الذي يكسو الكعكة، غير أن البكتيريا هي الكعكة ذاتها.

أندرو نول، Life On a Young Planet

الحياة المعقّدة

هيمنت الحياة البسيطة على الغلاف الحيوي لثلاثة مليارات ونصف المليار عام، ولا تزال تهيمن عليه إلى الآن. وقد تطلّب الأمر ثلاثة مليارات عام كي ننتقل من السلف الشامل الأخير إلى أول نماذج الحياة المعقّدة، أولى الكائنات عديدة الخلايا. هذا يخبرنا بأن تطوّر الكائنات عديدة الخلايا كان أصعب بكثير من تطوّر بدائيات النوى، كما يشير إلى أنه لو كانت الحياة وفيرة في الكون، فمن المؤكد أن الكائنات عديدة الخلايا نادرة الوجود؛ إذ إنها تمثل مستوًى ونوعًا جديدين من التعقيد في الكائنات الحيّة.

كان من الضروري أن يوجد العديد من الآليات الجُزَيْئية قبل بناء الكائنات عديدة الخلايا؛ فأنت بحاجة إلى طرق موثوق بها لربط ملايين الخلايا معًا في بنى محدّدة، وأنت بحاجة إلى قنوات تواصل جديدة بين الخلايا، وطرق جديدة لتدريب الخلايا على أدوار محدّدة، وطرق جديدة لإدارة ومشاركة المعلومات والطاقة بين مليارات الخلايا. وأنت بحاجة إلى آلات يمكنها بناء الأجنحة والعيون والمخالب والقلوب وقرون الاستشعار والمجسّات والزعانف والحراشيف والهياكل العظمية وكذلك الأدمغة؛ لأن الكائنات الكبيرة تستوعب وتعالج وتستجيب إلى كمية أكبر بكثير من المعلومات. وهذا قدر كبير من البنية التحتية.

استغرق تطوّر هذه الآلات كثيرًا من الوقت، لذا من أجل بناء الكائنات عديدة الخلايا احتاج كوكب الأرض إلى ظرف جديد من الظروف المثالية: الاستقرار. إن الظروف المواتية للحياة ليست كافية؛ فأنت أيضًا بحاجة إلى أن تستمرَّ تلك الظروف إلى وقتٍ طويلٍ حتى تستمرّ الحياة في التطوّر والتجريب. تساعد الشمس المستقرّة في هذا الصدد، وأدّت شمسنا مهمتها على أكمل وجه. فوفق المعايير النجمية، شمسنا مواطن مثالي، من غير المرجّح أن يقوم بشيء غير متوقع. فالمدارات المضطربة تعني وجود دورات مناخية جامحة، لذا فإن المدار الكوكبي المستقرّ يساعد كثيرًا. تستوفي أرضنا هذا الشرط كذلك، كما ساعد قمرنا الكبير

على نحو غير معتادٍ في استقرار مدار الأرض ودرجة ميلانها. وكما رأينا من قبل فقد وفّرت حركة الصفائح التكتونية والتعرية والحياة نفسها آليات تنظيم حرارة منعت درجات الحرارة من التقلّب بدرجة أعنف مما ينبغي على سطح الأرض.

كان من الممكن لأمور كثيرة أن تسوء. فقد كان من الممكن أن ينفجر مستعر أعظم في مجموعة شمسية قريبة، أو ربما اصطدم كوكبنا على نحو قاتل مع كوكب آخر. لكن بصورة أو بأخرى، تجنّبت أرضنا هذه الأخطار وظلّت صالحة لاستضافة الحياة لأكثر من ثلاثة مليارات عام. كان هذا وقتًا كافيًا لتطوّر الحياة المعقّدة، وكم هي معقدة بالفعل. فنحن بالنسبة إلى البكتيريا أشبه ببرج خليفة في دبي الذي يبلغ ارتفاعه ٨٣٠ مترًا بالنسبة إلى نملة تزحف بجوار حذاء الحارس.

بمجرّد ظهور الحياة المعقّدة، فإنها غيّرت الغلاف الحيوي بالدرجة التي غيرته بها الحياة البسيطة، لكن بطرق جديدة. فقد استعمرت الكائنات عديدة الخلايا القارات وغيّرتها تمامًا. سحقت النباتات الضخمة الصخور وحولتها إلى تربة، وسرّعت من عملية التجوية، وحوّلت الأسطح المغبرة الصخرية في الأرض المبكرة، بما فيها من شواطئ تحفّها حيود الستروماتوليت، إلى الحدائق والغابات والسافانا العجيبة الخصبة التي غطت الأرض على مدار الخمسمائة مليون عام الماضية. وبينما ضخّت النباتات الضخمة الأوكسيجين في الهواء، فإنها غيرت الغلاف الجوي تمامًا. وبداية من أربعمائة مليون عام مضت، أخذت الأرض تعتاد على مستوى جديد مرتفع من الأوكسيجين في الغلاف الجوي (أعلى من ١٥ بالمائة من الغلاف الجوي مقارنة بالمستوى السابق الذي كان يقل عن ٥ بالمائة)، ومستوى منخفض من ثاني أوكسيد الكربون (بضع مئات الأجزاء من المليون، مقارنة ببضع آلاف الأجزاء من المليون). جابت الحيوانات مواطن جديدة أوجدتها النباتات، ونظّفت الفطريات والبكتيريا وفتتت وأعادت تدوير بقايا الكائنات الميتة. كما غيّرت الكائنات عديدة الخلايا المحيطات تمامًا بالمثل، إذ ملأتها بكائنات جديدة عجيبة، من الروبيان إلى أحصنة البحر، ومن الأخطبوطات إلى الحيتان الزرقاء.

الأدوات الجُزَيْئية التي جعلت الحياة المعقّدة ممكنة

على مدار المليار عام الماضية، لم تتمثّل أهم الاختراعات الخلوية في ما هو موجود داخل الخليّة (فقد قامت بدائيات النوى بمعظم العمل هنا)، وإنما في العلاقات المعمارية المتغيرة بين الخلايا. فقد كانت أولى الكائنات عديدة الخلايا

مؤلّفة من خلايا مرتبطة معًا ارتباطًا ضعيفًا، مثل مليارات الخلايا الموجودة في الستروماتوليت. لقد كانت أسراب بدلًا من كونها كائنات. وفي الواقع، تُظهِرُ أنواع كثيرة من البكتيريا سلوكيات أشبه بسلوك الأسراب، وهو ما يشير إلى وجود نوع من منظومات التواصل البدائية. ومن الناحية العملية، يعني ذلك أن الشبكات الحاسوبية الموجودة داخل كل خليّة مترابطة على صورة منظومة حاسوبية مؤلفة من العديد من الخلايا المنفصلة.

بعض الكائنات عديدة الخلايا المبكرة كانت عديدة الخلايا لبعض الوقت وحسب، على غرار العفن الغروي الحديث. إن الديكتايوستيليوم نوع من الأميبا، وفي معظم الوقت تعيش خلاياه حياة مستقلّة، لكن حين يكون الغذاء شحيحًا، تتجمّع آلاف الخلايا معًا كي تشكّل بزّاقة، كيان أكبر يمكنه التحرّك بحثًا عن الغذاء. وبإمكان البزاقة أن تقوم بأشياء تعجز عن عملها الخلايا المنفردة، على غرار قطع مسافات كبيرة نحو الحرارة والضوء. وبينما تتحرّك البزاقة، ربما تتغيّر الخلايا المنفردة وتتخذ أدوارًا مختلفة، فبعضها يعمل عمل الأبواغ، وبعضها يكون جزءًا من السويقة أو القدم. يخبرنا الديكتايوستيليوم بعدد من الأشياء المهمة. أولًا، لقد تطوّرت تعدّدية الخلايا مرات عديدة ولا تزال تتطوّر في وقتنا الحالي في بعض مجموعات الكائنات. ثانيًا، تمتلك تعدّدية الخلايا، مثل الحياة، منطقة حدودية غائمة من الكائنات التي يصعب تصنيفها. ثالثًا، تضاعف الكائنات عديدة الخلايا القوة الحاسوبية للخلايا المنفردة، بحيث تزيد من قدرتها على إدارة المعلومات المتعلّقة بالبيئة المحيطة بها.

في الكائنات عديدة الخلايا بالكامل، تكون كل خلية متخصِّصة بدرجة كبيرة، ومعتمدة على غيرها من الخلايا إلى درجة أنها تعجز عن أن تعيش بمفردها. إن تعدّدية الخلايا في حقيقتها تعدّ صورة متطرّفة من التكافل. غير أن التعاون يكون أسهل بفضل الحقيقة القائلة بأن غالبية الخلايا داخل الكائنات عديدة الخلايا تكون متطابقة وراثيًّا، فهي كالعائلة. وبذا فإن كل خلية تعمل على دعم الكائن كله، أحيانًا عن طريق التضحية بحياتها من أجل صالح البقية. وفي الحقيقة، عادة ما تدمّر الخلايا نفسها، كطياري الكاميكازي، إذا لم تعد تعمل بصورة صحيحة أو لم تعد ثمة حاجة إليها، وهي العملية المعروفة للبيولوجيين باسم الاستماتة. واليوم، ستنتحر نحو خمسين مليار خلية في جسدك بواسطة الاستماتة.

إن تبادل المعلومات له أهمية بالغة للكائنات عديدة الخلايا تماثل أهميته للمجتمعات الحديثة. فالكثير من أوجه التواصل بين الخلوية تتم بواسطة مكافئ خلوي للخدمة البريدية؛ جُزَيْئات ناقلة تمر عبر أغشية الخلايا المنفردة وتدور بين الخلايا ناقلة المغذيات والتحذيرات والمعلومات والأوامر. وقد صار مقدار جينوم الكائنات عديدة الخلايا المخصّص للتعاون واضحًا حين جرى تحديد تسلسلات أول جينوم لكائن منها في العام ١٩٩٨. كان ذلك الكائن دودة، من نوع الربداء الرشيقة، ولها جهاز عصبي مكوّن من ٣٠٢ خلية عصبية. وقد تبيّن أن نحو ٩٠ بالمائة من جيناتها البالغ عددها ١٨٨٩١ جينًا ليست موجودة في بدائيات النوى وحيدة الخلايا، لأن مهمّة هذه الجينات هي مساعدة الخلايا على العمل معًا.

تعمل خلايا الكائنات الكبيرة معًا جيدًا لأنها تتشارك في الجينات عينها، غير أن الخلايا تلعب أدوارًا مختلفة لأن جينات مختلفة يجري تنشيطها في الخلايا المختلفة. وبينما تنقسم الخلية الواحدة للبويضة المخصّبة وتتضاعف، تُنَشِّط خلايا جديدة أجزاءً مختلفة من جينومها المشترك، اعتمادًا على الموضع الذي تجد فيه نفسها داخل الجنين النامي. تحدّد جينات متنوّعة البنى التي ستمتلكها الخلايا والأدوار التي ستلعبها داخل

الكائن. وتدير عملية النمو المدهشة هذه مجموعة صغيرة من الجينات تعرف باسم جينات صندوق الأدوات، على غرار المائتي جين أو نحو ذلك المسماة جينات هوكس. إن جينات صندوق الأدوات تشبه مديري مواقع البناء. وبينما تؤدّي الجينات العادية وظائف البناء التقليدية عن طريق تكوين هذا البروتين أو تنشيط ذلك الإنزيم، فإن جينات صندوق الأدوات تحدّد متى وأين تعمل الجينات الأخرى، وذلك باستخدام خطّة معمارية مخزَّنة داخل الـ«دي إن آيه» الموجود في الخلية. قد تقول هذه الجينات: «حسنًا، أنت هناك، يجب أن تنمو لتصير ساقًا»، أو «كلا، أنت خلية عظمية، لا خلية عصبية». هذه هي الكيفية التي تتكوّن بها الخلايا العضلية والعصبية وخلايا الجلد والعظام وجميع أنواع الخلايا التي يزيد عددها على المائتي نوع التي تشكّل الجسم البشري.

إن جينات صندوق الأدوات متشابهة بدرجة مدهشة في الأنواع المختلفة، وهذا يشير إلى أنها جزء من الماكينة الأولى للحياة المعقّدة. ليست جينات صندوق الأدوات في ذاتها هي التي تجعل الصراصير تتمايز عن الببغاوات، وإنما التفاوتات في الكيفية التي تعمل بها على تنشيط الجينات. وبهذه الطريقة، ما يصير ساقًا في

أحد الأنواع ربما يصير جناحًا في نوع آخر، وما بدأ كشرغوف ربما ينتهي به الحال كحوت أزرق. وإذا قامت جينات صندوق الأدوات بتنشيط الجينات بالترتيب الخطأ، من الممكن أن نحصل على وحوش، مثل ذبابة فاكهة تنمو إحدى سيقانها من جبهتها. وتساعد الخطط المعمارية المختلفة التي تستخدمها جينات صندوق الأدوات في تفسير التنوّع المذهل للكائنات عديدة الخلايا اليوم.

الحياة المعقّدة تنطلق: العصر الإدياكاري والعصر الكمبري

لم تزدهر الكائنات عديدة الخلايا إلا منذ نحو مليار عام مضت. وكانت أولى الكائنات على الأرجح عبارة عن طحالب تقوم بعملية التمثيل الضوئي وشكّلت بنى أشبه بعشب البحر. لكن في نهاية دهر الطلائع، منذ نحو ستمائة مليون عام، انطلقت الحياة المعقّدة بينما بدأت ملايين الأنواع من الكائنات عديدة الخلايا في استكشاف المواطن الجديدة العديدة وطرق الحياة التي فتحها تعدد الخلايا.

تسبّبت التقلّبات المناخية الحادّة التي وقعت في أواخر دهر الطلائع في انطلاق الحياة المعقّدة. مرّت على الأرجح حقبتان جليديتان بالأرض، سببهما ارتفاع مستويات الأوكسيجين. وقد كانت الحقبة الجليدية التي بدأت منذ نحو سبعمائة مليون عام شديدة التأثير إلى درجة أنه في العام ١٩٩٠ أضاف الجيولوجيون عصرًا جديدًا إلى الخط الزمني الجيولوجي: العصر الإدياكاري. بدأ هذا العصر منذ نحو ٧٢٠ مليون عام واستمر لمدة ٨٥ مليون عام. انتشرت أنهار جليدية بعمق كيلومتر واحد فوق اليابسة والمحيطات، وربما انخفضت درجات الحرارة إلى سالب خمسين درجة مئوية وتوقّف التمثيل الضوئي بدرجة كبيرة. ومجدّدًا، كان مصير كل الكائنات الحية على المحك.

لماذا تجمّدت الأرض؟ ربما تسبّبت الطحالب المنتشرة على اليابسة في امتصاص الكثير من ثاني أوكسيد الكربون، غير أن التركيب المتغيّر للقارات ربما لعب دورًا هو الآخر. فمنذ بدايات دهر الطلائع تجمّعت الصفائح التكتونية بصورة دورية بحيث شكّلت قارات ضخمة. وقد وصلت قارة كولومبيا الضخمة إلى أكبر حجم لها منذ نحو ١,٨ مليار عام. ومنذ مليار عام، كانت غالبية القارات متّحدة معًا في قارة أخرى ضخمة تعرف اليوم باسم رودينيا. وقد أدّى انقسام قارة رودينيا إلى خلق جغرافيا عالمية أكثر تعقيدًا وسرَّع من عملية التجوية، وهو ما أدى إلى امتصاص المزيد من ثاني أوكسيد الكربون. بل وربما وقعت عمليات أشدّ عنفًا،

على غرار حدوث تحوّل مفاجئ في محور دوران الأرض، أدّت إلى تغيير مواضع القارّات كلّها نسبةً إلى القطبين. تُعرَف هذه الحوادث باسم «حوادث الانزياح القطبي الفعلي»، وقد وقعت على الأقل ثلاثين مرة خلال الثلاثة مليارات عام الماضية. وربما حدثت هذه الهزّة الجيولوجية الواسعة النطاق بسبب التحرّك المفاجئ لكتل ضخمة من الصهارة داخل الأرض، أو ربما نتيجة اصطدام كويكب بالأرض.

بصرف النظر عن السبب، فقد كان من شأن هذه التغيّرات العنيفة أن تسرِّع من وتيرة تطوّر الحياة. تحت الجليد، تجمّعت الكائنات الناجية مجدّدًا حول شقوق القشرة الأرضية التي تتسرّب منها الصهارة الحارة. وفي معسكرات اللاجئين البيولوجية هذه استطاع التطوّر استكشاف مسارات عجيبة، لأن الجينات الجديدة يمكنها الانتشار سريعًا داخل التجمّعات الصغيرة المنعزلة. وفي الواقع، ربما شهدت هذه العوالم الغريبة بعضًا من أولى التجارب على تعدّدية الخلايا.

انتهت حقبة البرد القارص منذ نحو ٦٣٥ مليون عام، وانتهت بغتة. فقد تجمّعت غازات الدفيئة المتدفّقة من البراكين تحت الجليد ثم انطلقت بعنف في الغلاف الجوّي. ارتفعت مستويات ثاني أوكسيد الكربون بشدة، بينما انخفضت مستويات الأوكسيجين إلى ما دون مستوياته اليوم بكثير. ارتفعت درجة الحرارة، وذاب الجليد، وتغيّر الغلاف الحيوي تمامًا. والآن انطلقت الابتكارات البيولوجية التي جعلت الحياة عديدة الخلايا ممكنة في عالم متزايد الدفء، وكثير منها ظهر في العالم القارس المظلم للعصر البارد.

يأتينا أول الأدلة على وجود أعداد كبيرة من الكائنات عديدة الخلايا من بدايات العصر الإدياكاري، التي امتدت في الفترة من ٦٣٥ إلى ٥٤٠ مليون عام مضت. وللمرة الأولى، نرى ثلاث مجموعات مألوفة من الكائنات الكبيرة: النباتات، التي تعتمد على التمثيل الضوئي وبذا يمكنها المكوث في هدوء وامتصاص ضوء الشمس، والفطرّيات، التي تقتات على المواد العضوية المتحلّلة، والحيوانات، التي عليها أن تكون يقظة وفي حالة حركة لأنها تعيش على صيد والتهام الكائنات الأخرى. ومع ظهور أعداد كبيرة من الكائنات التي تحصل على طاقتها عن طريق التهام كائنات أخرى، صار الغلاف الحيوي أكثر تعقيدًا وتنوعًا وهرميةً بينما مرّت الطاقة الآتية من ضوء الشمس عبر مستويات غذائية مختلفة؛ من النباتات إلى الحيوانات والفطريّات. تحصل الحيوانات، مثلنا نحن البشر، على الطاقة بصورة

غير مباشرة؛ فنحن نستخدم الطاقة التي اقتنصتها النباتات أولًا، وحين تصلنا الطاقة يكون كثير منها قد تسرّب بعيدًا. يتحدّث الإيكولوجيون عن سلاسل الغذاء، وهي شكل من طابور من مستهلكي الطاقة تتقدّمهم النباتات، تليها الحيوانات العاشبة (التي تأكل النباتات)، ثم الحيوانات اللاحمة، التي يمكن أن تأكل الحيوانات العاشبة، ثم الفطريات، التي تختتم السلسلة عن طريق الاقتيات على الكائنات النافقة. هذه العملية كلّها تسعد الإنتروبيا، التي تفرض ضريبة هدر عند كل خطوة منها. وتقريبًا ٩٠ بالمائة من الطّاقة التي يقتنصها التمثيل الضوئي تضيع عند كل مستوى غذائي، لذا يكون قدر أقل بكثير من الطاقة متاحًا للحلقات التالية من السلسلة الغذائية. ولهذا السبب يقل عدد الحيوانات كثيرًا عن عدد النباتات على الأرض، ويقلّ عدد الحيوانات اللاحمة عن العاشبة. غير أن الفطريات تبلي بلاء حسنًا على أي حال، لأنها تعيد تدوير الجيف.

كانت أولى الكائنات عديدة الخلايا على الأرجح من النباتات، لأنها تمتلك بلاستيدات خضراء داخل خلاياها، وبذا كانت تقوم بعملية التمثيل الضوئي. تطوّرت الحيوانات عديدة الخلايا في وقت لاحق، لأنها عاشت في موضع أعلى من السلسلة الغذائية، حيث كانت الطّاقة أندر، واحتاجت إلى مزيد من الطاقة من أجل صيد غذائها. ويأتينا أول الأدلّة على الحيوانات عديدة الخلايا من المحيطات في العصر الإدياكاري.

سُمِّي العصر الإدياكاري تيمنًا بتلال إدياكارا في جنوب أستراليا، حيث اكتُشفَت أولى الحفريات التي تعود إلى هذه الحقبة، وذلك في أربعينيات القرن العشرين. وقد وجد علماء الحفريات ما لا يقل عن مائة نوع مختلف من أجناس العصر الإدياكاري. مثَّلَ اكتشاف هذه الحفريات مفاجأة لأن البيولوجيين افترضوا لأكثر من قرن أن أول الكائنات الكبيرة ظهرت في الكمبري، بين ٥٤٠ و٤٩٠ مليون عام مضت. لقد غفل البيولوجيون عن كائنات العصر الإدياكاري لأنها كانت ذات أجسام رخوة، كالإسفنج أو قناديل البحر الحالية أو شقائق النعمان، لذا لم تُحفَظ جيدًا كحفريات. واليوم، نعرف بوجود هذه الكائنات بالأساس من واقع الآثار والأنفاق التي خلّفتها وراءها بينما كانت تسير وتنزلق وتحفر لنفسها أماكن في أوحال بحار العصر الإدياكاري. وعلى الأرجح فقد جابت أولى اللاسعات والمشطيّات (فكر في قناديل البحر، رغم أن هذه المجموعات لا تقتصر عليها) محيطات العصر الإدياكاري وهي مهمّة بالنسبة إلينا لأنها تعد أول الكائنات الكبيرة

ذات الخلايا العصبية، رغم أن هذه الخلايا لم تكن متركّزة في جهاز عصبي مركزي أو دماغ، وإنما موزّعة في أرجاء أجسادها، مثل الأجهزة العصبية للافقاريات الحديثة.

يصف البيولوجيون الظهور المفاجئ لعدد كبير من الأنواع الجديدة بأنه تشعّب تكيّفي. هذه فكرة مهمة. فقد تم العثور على أداة بيولوجية جديدة -تعدّد الخلايا- والآن يجري استكشاف إمكانياتها من جانب العديد

من السلالات التطورية المختلفة. وكما هو الحال في النماذج الأولية (فكر في أولى العربات ذات محرّكات الاحتراق الداخلي والتي لم تجرّها الخيول)، فإن غالبية النماذج لم يكتب لها البقاء. فقلة قليلة من أنواع العصر الإدياكاري لها أحفاد موجودون اليوم، واختفى معظمها منذ نحو ٥٥٠ مليون عام. وتحسّبًا لأن تقع تحت إغراء الاعتقاد بأن هذا يمثّل فشلًا تطوّريًّا، تذكر أن البشر موجودون منذ مائتي ألف عام وحسب.

كان العصر الإدياكاري بمنزلة فترة اختبارية لتعدّد الخلايا. ويعدّ العصر الكمبري الذي بدأ بعده بداية ما يطلق عليه البيولوجيون اسم دهر البشائر، أو دهر الحياة المعقّدة، والذي استمرّ منذ ذلك الوقت إلى الآن. وفي العصر الكمبري حدث تشعّب تكيّفي ثانٍ للكائنات عديدة الخلايا.

تم التعرّف للمرة الأولى على حفريات العصر الكمبري في منتصف القرن التاسع عشر على يد العالم الإنجليزي آدم سيدجويك. وفي ذلك الوقت، كانت طبقات العصر الكمبري هي أقدم طبقات تُظهر آثارًا تدلّ على وجود حياة. وقد احتوت هذه الطبقات على العديد من الحفريات الكبيرة، أكثرها من ثلاثيات الفصوص. كانت ثلاثيات الفصوص من المفصليّات، وهي كائنات جسمها مقسّم إلى وحدات ذات هيكل عظمي خارجي، تشبه الحشرات والقشريّات الحديثة. كانت حفريات العصر الكمبري محفوظة جيدًا لأن الكثير من الكائنات كانت له هياكل عظمية وأصداف. وفي نظر علماء حفريات القرن التاسع عشر، بدا أن الحياة قد انبثقت فجأة، كاملة التكّوين، وهو ما أسعد أولئك الذين يؤمنون بوجود إله خالق. ونحن الآن نعرف أن الحياة كانت موجودة بالفعل لمدة ثلاثة مليارات ونصف المليار عام، كل ما في الأمر أنه كان من الصعب رؤية الأدلّة على ذلك. فالعصر الكمبري ليس علامة على بداية الحياة، وإنما على التشعّب التكيّفي المبهر لأشكال الحياة عديدة الخلايا.

كانت تصميمات العصر الكمبري أكثر نجاحًا من تلك الخاصّة بالعصر الإدياكاري، كما لو أن ثمة فجوات كبيرة جرى رأبها. كانت الوحدات واحدة من أنجح الحيل التصميمية لهذا العصر. فأنت تربط معًا وحدات الجسم المتشابهة بدرجة كبيرة في الشكل كي تشكّل كائنًا أشبه بالدودة مثلًا. بعد ذلك بدأت جينات صندوق الأدوات في تعديل كل وحدة بحيث تحوّل بعضها إلى سيقان والبعض إلى أجنحة، بينما تحوّل بعضها إلى رأس فيه فم، أو قرون استشعار، أو ربما دماغ. حتى أنا وأنت ذوي أجسام مكوَّنة من وحدات، رغم أن الوحدات شديدة التخصّص الآن إلى درجة أن من الصعب رؤية أوجه الشّبه بينها.

كانت تصميمات العصر الكمبري شديدة النجاح إلى درجة أن جميع مجموعات (أو شُعَب) الكائنات الكبيرة التي توجد اليوم ظهرت للمرة الأولى في العصر الكمبري. وقد ظهر معظمها في الفترة المذهلة التي امتدّت لعشرة ملايين عام وبدأت منذ ٥٣٠ مليون عام. وفي هذه الفترة (التي تمثّل جزءًا من الثانية في أعين علماء الحفريات)، تركّزت على الأرجح أسرع عمليات الابتكار البيولوجي التي جرت خلال الستمائة مليون عام الماضية.

تضمّنت أنواع العصر الكمبري أول الحبليات، أو الفقاريات. هذه هي الشّعبة الضخمة من الحيوانات التي ننتمي إليها. إن الفقاريات تشبه الأنابيب؛ إذ يمتد بها حبل شوكي، ولها مقدّمة (فيها فم) ومؤخِّرة (فيها شرج)، كما أن فيها جهازًا عصبيًّا بدائيًّا. إن أولى الفقاريات لم تمتلك كرة الخلايا العصبية التي نسمّيها الدماغ، وإنما كانت تمتلك أجهزة عصبية فيها مئات أو آلاف من الخلايا العصبية المتشابكة، التي يمكنها معالجة كثير من المعلومات الواردة إليها من خلايا الاستشعار، ثم تمرير القرارات إلى الأعضاء الأخرى التي يمكنها اتخاذ الإجراء الملائم. بل وكان بمقدور كائنات عديدة الخلايا ذات أجهزة عصبية أبسط أن تفهم وتستجيب إلى قدر أكبر بكثير من المعلومات مقارنة بالكائنات البسيطة. وبهذا يعدّ العصر الكمبري كذلك بدايةً لحقبة صارت فيها عملية معالجة المعلومات أكثر تعقيدًا وأهمية. وربما تحمل اللافقاريات البحرية المسماة السهميّات، التي لها أجهزة عصبية لكن من دون أدمغة فعلية، بعض الشبه بأسلافنا الفقارية المبكرة.

ربما يفسّر المناخ غير المستقرّ الوتيرة المدهشة للتطوّر في العصر الكمبري. فقد بدأت مستويات الأوكسيجين في الارتفاع مجدّدًا، وبذا وفّرت بعضًا من الطاقة المطلوبة لبناء الكائنات عديدة الخلايا. غير أن مستويات ثاني أوكسيد الكربون

ارتفعت بصورة أسرع بكثير، ووصلت إلى مستويات أعلى بكثير مما هي عليه اليوم. كان ذلك العالم دافئًا رطبًا شبيهًا بالصوبة. وبصرف النظر عن طبيعة التغييرات التي حدثت، فقد زادت التقلّبات المناخية والجيولوجية العنيفة من وتيرة التطوّر، ودفعت العديد من الأنواع إلى الانقراض وفرضت تطوّر أنواع عديدة جديدة من الكائنات.

الارتفاعات والانخفاضات التطوّرية:

حوادث الانقراض الجماعي وأفعوانيّة التطوّر

مثلما يحدث للمستكشفين الذين يجتازون حاجزا جبليًّا ويصلون إلى أرضٍ جديدة، فتح اختراع تعدّد الخلايا احتمالات جديدة أمام الحياة، واستكشفت الكائنات عديدة الخلايا هذه الاحتمالات عبر سلسلة من عمليات التشعّب التكيّفي. وقد غيّرت أشكال الحياة الجديدة وجه القشرة الأرضية مع تراكم الهياكل العظمية والقشور المكوَّنة من كربونات الكالسيوم مُشَكِّلةً طبقاتٍ سميكةً من الطباشير (فكّر في منحدرات دوفر البيضاء). انتقلت نباتات وحيوانات كبيرة إلى اليابسة، وسرَّعَت من عملية التجوية والتعرية وتفتّت الصخور بحيث أوجدت أول تربة حقيقية على سطح الأرض. وفي النهاية، حوَّل الكلوروفيل الموجود في خلايا النباتات الكثير من الأراضي إلى اللون الأخضر.

هذه التغيّرات لم تحدث بالشكل السلس الجليل الذي توقّعه داروين وأبناء جيله من التطوّر. بدلًا من ذلك فقد كان تاريخ الحياة المعقدة أشبه برحلة خطيرة وغير متوقّعة. فأمور مثل اصطدام الكويكبات، والتحوّلات المفاجئة في الأجزاء الداخلية للأرض، والتغيّرات في الغلاف الجوي للكوكب، والثورات البركانية الهائلة، كلّها تسبّبت في دفع التطوّر نحو مسارات جديدة وغير متوقّعة. لقد «قوطع» التطوّر، كما ذهب كل من نايلز إلدريدج وستيفن جاي جولد في مقالهما الشهير المنشور العام ١٩٧٢ . ومثل الصورة النمطية التي تجسِّد الحياة على شكل جندي، فقد كان التطوّر في دهر البشائر يعني فترات طويلة من الملل، تتخلّلها لحظات من الرعب والعنف المهدّد للحياة. ويتجلّى العنف في أوضح صوره في حوادث الانقراض الجماعي.

ومرة أخرى نرى الصدفة والحتميّة يؤدّيان عملهما. ففي أي وقت بعينه، كان من الممكن لأي خليط نظري من الأنواع أن يوجد، وقد حدّدت الحوادث التي تعتمد على الصدفة أيًّا من هذه الأنواع من شأنه أن يوجد بالفعل. وخلال حوادث الانقراض الجماعي، كانت مجموعات كاملة من الأنواع تختفي فجأة وبصورة عشوائية، ومثل الحروب البشرية، كانت تكلفة حوادث الانقراض الجماعي فادحة، وهذه الحوادث كانت قاسية بصورة خاصة على الأنواع المتخصّصة؛ لأن الكائنات التي تقطن بيئات خاصّة للغاية، مثل الكوالا في وقتنا الحاضر، لم تكن لديها مساحة كبيرة للمناورة في فترات التغيّر السريع. كما كانت حوادث الانقراض الجماعي قاسية كذلك على الأنواع الكبيرة، التي تحتاج إلى طعام أكثر وتتكاثر بمعدّل أبطأ لا يواكب التغيّرات السريعة. لقد أعادت حوادث الانقراض الجماعي خلط أوراق اللعب الوراثية، وأوجدت مساحات تطوّرية جديدة للكائنات الباقية على قيد الحياة، ومهّدت الساحة لتجارب تطوّرية جديدة. كما كانت هذه الحوادث متبوعة دائمًا بحوداث تشعّب تكيّفي، فترات من التجريب السريع التي أُطلقَت منتجات بيولوجية جديدة في السوق الجماعي للغلاف الحيوي الآخذ في التغيّر. اختفى كثير من التجارب العجيبة سريعًا، ولم يتبقَ إلا أنجح التجارب فقط.

وقع حدث الانقراض الجماعي الأوّل في الدهر السحيق. فقد تسبّب حدث الأكسجة العظيم، الذي وقع منذ ٢٫٥ مليار عام، بالتأكيد في محو الكثير من الكائنات البكتيرية التي كان الأوكسيجين سامًّا لها. وفي الواقع، ربما كان هذا هو أكبر حوادث الانقراض الجماعي قاطبة. أيضًا هلكت مجموعات عديدة من الأنواع خلال حقب التجمد في أواخر دهر الطلائع، ونعلم أن العديد منها قد اختفى في نهاية العصر الإدياكاري. ومنذ ذلك الوقت، نعلم بحدوث ما لا يقل عن خمسة حوادث انقراض جماعي اختفى خلالها أكثر من نصف أنواع الكائنات الموجودة تمامًا.

انتهى العصر الكمبري بسلسلة من حوادث الانقراض الجماعي التي بدأت منذ ٤٨٥ مليون عام مضت. انقرضت أنواع عديدة من ثلاثيات الفصوص، وكذلك العديد من الأنواع العجيبة التي عاشت في العصر
الكمبري، والتي عُثر على حفرياتها في طَفْل بورجيس في كندا وفي منطقة تشينجيانج في الصين. كما انتهى العصر الأوردوفيشي أيضًا بحادث انقراض جماعي عظيم منذ نحو ٤٥٠ مليون عام، اختفى فيه نحو ٦٠ بالمائة من الأجناس.

وقع أعظم حوادث الانقراض الجماعي في نهاية العصر البرمي، منذ ٢٤٨ مليون عام. وهذه المرة، اختفى أكثر من ٨٠ بالمائة من الأجناس، بما في ذلك آخر ثلاثيات الفصوص. لا يزال السبب الدقيق لحادث الانقراض هذا غير معروف، وربما كان راجعًا إلى الصهارة المرتفعة التي اخترقت القشرة الأرضية، وتسبّبت في انفجارات بركانية هائلة أطلقت في الهواء غبارًا بركانيًّا أعاق عملية التمثيل الضوئي. ونجد أدلّة حديثة على هذا في المنطقة البركانية الكبيرة في سيبيريا المعروفة باسم مصاطب سيبيريا. أطلقت الانفجارات البركانية كمّيات هائلة من ثاني أوكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، لذا حين استقرّ الغبار ارتفعت مستويات ثاني أوكسيد الكربون بحدّة، وانخفضت مستويات الأوكسيجين، وصارت المحيطات دافئة. فعندما تجشّأت الأرض، ارتعد الغلاف الجوي. ووفق بعض التقديرات، ربما وصلت درجة حرارة المحيطات إلى ثمانٍ وثلاثين درجة مئوية، وهي حرارة تكفي لقتل غالبية صور الحياة البحرية ووقف كل عمليات التمثيل الضوئي في المحيطات. فالمحيطات الأدفأ تحمل كمّيات أقل من الأوكسيجين وتدعم الحياة بدرجة أقل، وعلى أعماق كبيرة تحت السطح، ربما أطلقت كرات الميثان المتجمّدة الآخذة في الذوبان، والمعروفة بهيدرات الميثان، فقاعات ضخمة من غاز الميثان. كان حدث انقراض دفيئة جماعي، إذ قتل الأنواع عن طريق ارتفاع درجة الحرارة لا التجمّد. وفي عالم تسيطر عليه غازات الدفيئة بهذا الشكل البالغ، ظلت الكائنات الكبيرة باقية فقط في البيئات القطبية الأبرد في أقصى شمال وجنوب قارة بانجايا الكبرى.

اكتساء الأرض باللون الأخضر وأكسجة الغلاف الجوي

تحت التغييرات العنيفة التي شهدها دهر البشائر في بداياته، كان غلافٌ حيويٌ جديد آخذ في التكون. فقد غيَّرَ انتشار النباتات والفطريات والحيوانات على اليابسة من سطح الأرض تمامًا، وكان لانتشار النباتات التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي على اليابسة أهمّية خاصّة، لأنها كانت تستهلك كميات ضخمة من ثاني أوكسيد الكربون وتطلق كميات ضخمة من الأوكسيجين، وأدى هذا إلى إعادة ضبط آلية تنظيم الحرارة الخاصّة بالغلاف الحيوي، وخلق نظامًا مناخيًّا جديدًا ذا مستويات أعلى من الأوكسيجين ومستويات أقل بشكل غير مسبوق من ثاني أوكسيد الكربون. واستمرت الملامح الأساسية لهذا النظام قائمة إلى وقتنا الحالي.

كان استعمار اليابسة أمرًا شديد الصعوبة، وكان يشبه قليلًا استعمار كوكب جديد. لقد تطوّرت الحياة وازدهرت في الماء لنحو ثلاثة مليارات عام، وكل خليّة تطوّرت في حمام من الماء المالح، وكل كائن كان يطفو في الماء، ويستخلص منه الغازات والمواد الكيميائية التي احتاجها، وكان يصطاد منه غذاءه. وبعيدًا عن الماء، احتاجت الكائنات إلى أنظمة دعم تناهز في تعقيدها أي بدلة فضاء؛ فقد كانت بحاجة إلى جلود أقسى يمكنها احتجاز الماء ومنع الأجسام من الجفاف، غير أن هذه الجلود تعيَّن عليها أيضًا أن تكون مُنفّذة، بحيث تسمح بدخول ثاني أوكسيد الكربون أو الأوكسيجين. كان ثمّة توازن صعب التحقّق ها هنا. تتعامل أوراق النباتات مع هذه المتطلّبات المتعارضة عن طريق المسام الدقيقة المسماة الثغيرات، والتي تسمح بدخول ثاني أوكسيد الكربون وبخروج الماء، وتتغيّر أحجام الثغيرات وأعدادها اعتمادًا على درجة الحرارة والرطوبة ومستويات ثاني أوكسيد الكربون المحيطة.

كيف تستطيع الكائنات التكاثر خارج الماء؟ كيف يمكنها حماية بيضها أو صغارها من مصير الجفاف المريع؟ وفَّر الماء أيضًا قوة الطفو، ولم يكن ثمة الكثير من هذه القوّة على اليابسة. لم يهمّ ذلك كثيرًا في حالة الحشرات الضئيلة؛ فهي أخف وزنًا من أن تقلق بشأن الجاذبية، ولهذا السبب لا يتضرّر البرغوث من القفز من أعلى منحدر. غير أن الجاذبية مثّلت بالفعل مشكلة للكائنات الكبيرة، فقد كانت بحاجة إلى دعم من عوارض من العظام أو الخشب ليتسنى لها أن تنتصب وقوفًا. وبمجرد أن وقفت، احتاجت إلى منظومة من المواسير التي يستطيع فيها الماء الدوران عكس اتجاه الجاذبية والوصول إلى كل خلية في أجسادها. تقوم النباتات بتدوير السوائل عبر الجذور والقنوات الداخلية، مستغلةً قدرة الماء على الصعود عبر المسارات الضيقة باستخدام الخاصّية الشّعرية. كما طوّرت الحيوانات مضخّات خاصّة (أي القلوب) كي تدور في أجسامها السوائل والمغذّيات وتتخلّص من الفضلات.

لم يبدأ الاستعمار الجدّي لليابسة من جانب الكائنات عديدة الخلايا إلا بعد انقراض العصر الأوردوفيشي منذ نحو ٤٥٠ مليون عام. في ذلك الوقت، وللمرة الأولى، خرجت بضع مجموعات من النباتات والحيوانات من المحيطات إلى اليابسة، وقد شجّعتها على الأرجح دفعة الطاقة التي حصلت عليها من مستويات الأوكسيجين المتزايدة في الغلاف الجوي.

ظهرت أولى النباتات الوعائية، التي تحتوي على أنسجة قادرة على تدوير السوائل والمغذيات بين أجزائها، على اليابسة منذ نحو ٤٣٠ مليون عام. وسريعًا ما تبعتها الفطريات والحيوانات. ربما ازدهرت مفصليات بسيطة شبيهة بالعقارب على اليابسة في نفس وقت ظهور أولى النباتات الوعائية. ومن المؤكّد أن أولى البرمائيات سارت على اليابسة منذ نحو ٤٠٠ مليون عام، وهو الوقت الذي عُثر فيه على حفريات شبيهة بالبرمائيات في أيرلندا وبولندا. تطوّرت البرمائيات من الأسماك التي يمكنها التنفّس خارج الماء والسير في المياه الضحلة للبحيرات والأنهار الجافة، مثل الأسماك الرئوية الحديثة. غير أن كل البرمائيات تعيَّن عليها البقاء على مقربة من الماء، حيث تضع بيضها. كانت البرمائيات المبكرة هي أولى الفقاريات الأرضية الكبيرة، وبعضها كان كبيرًا مثلي ومثلك.

كان للنباتات التي تستعمر اليابسة تأثير كبير تحديدًا على الغلاف الجوي؛ لأنها كانت تتنفّس ثاني أوكسيد الكربون وتزفر الأوكسيجين. ارتفعت مستويات أوكسيجين الغلاف الجوّي سريعًا بعد العصر الأوردوفيشي، بحيث ازدادت من ٥ إلى ١٠ بالمائة من الغلاف الجوي إلى نسبة أعلى بكثير مما هي عليه اليوم، إذ وصلت إلى نحو ٣٥ بالمائة، قبل أن تستقر. ومنذ نحو ٣٧٠ مليون عام، ظلّت مستويات الأوكسيجين تتراوح بين ١٧ و٣٠ بالمائة من الغلاف الجوي. ونحن نعلم هذا لأنه على مدار هذه الفترة الكاملة وجد الباحثون أدلّة على نشوب حرائق تلقائية وحرائق لا يمكن أن تشتعل لو كانت مستويات الأوكسيجين تقل عن ١٧ بالمائة. وقد وصلت مستويات الأوكسيجين إلى ذروتها على الأرجح خلال العصر البرمي (من ٣٠٠ إلى ٢٥٠ مليون عام مضت).

يمثّل أحد مؤشرات ارتفاع مستويات الأوكسيجين في ظهور الشُّعب المرجانية، التي تحتاج إلى كميات ضخمة من الأوكسيجين. ظهرت أولى الشُّعب المرجانية الضخمة في العصر الأوردوفيشي. والمرجان عبارة عن مستعمرات تكافلية شاسعة من حيوانات لا فقارية متطابقة وراثيًّا. ومن الممكن، بقليل من المبالغة، أن ننظر إليها بوصفها حيوانات منتشرة على نطاق واسع لها هياكل عظمية صلبة لكنْ عديمة الملامح. وكل مرجان يستضيف مستعمرات من كائنات وحيدة الخلايا تقوم بالتمثيل الضوئي تمدّه بالطّاقة. وقد قدّمت الشعب المرجانية مأوًى مريحًا للعديد من الكائنات الكبيرة، بما فيها ثلاثيات الفصوص والإسفنج والرخويات.

أمدّت مستويات الأوكسيجين المرتفعة بالطّاقة موجةً ثانية من استعمار الكائنات عديدة الخلايا لليابسة خلال العصر الديفوني، الذي بدأ منذ ٣٧٠ مليون عام. وقد ظهرت أولى النباتات ذات الهياكل الخشبية التي تمكّنها من الانتصاب في مواجهة الجاذبية منذ نحو ٣٧٥ مليون عام، وتلتها في الظهور سريعًا أولى الغابات. وقد قامت هذه النباتات باستهلاك كميات كبيرة من ثاني أوكسيد الكربون من خلال التمثيل الضوئي، بحيث اكتست الأرض باللون الأخضر، وانخفضت مستويات الأوكسيجين إلى نحو عُشر مستوياتها السابقة. وقد كان تأثير أولى الغابات عظيمًا تحديدًا لأنه حتى ذلك الوقت لم يكن ثمة وجود لكائنات تستطيع تفتيت مادة الليجنين الموجودة في الخشب. ولهذا السبب فإن الغابات التي تعود إلى العصر الفحمي (الذي امتد بين ٣٦٠ و٣٠٠ مليون عام مضت)، دُفنَت في الغالب تحت التربة، بصحبة الكربون الذي سحبته من الغلاف الجوي. ومع مرور الوقت تحجّرت الغابات وشكّلت عروقًا من الفحم أمدّت الثورة الصناعية في زمن لاحق بالطاقة. وقد دُفنَ نحو ٩٠ بالمائة من رواسب الفحم الموجودة اليوم خلال عصر ارتفاع مستويات الأوكسيجين، الذي امتد من ٣٣٠ إلى ٢٦٠ مليون عام مضت. وفي ظل وجود وفرة من الأوكسيجين، اشتعلت الغابات بسهولة نتيجة صواعق البرق. ولهذا ربما اتسم العالم في العصر الفحمي وأوائل العصر البرمي، رغم برودته، بالرائحة الحادة

اللاذعة للغابات المحترقة، وهي رائحة لن يرصدها أحد على أي من الكواكب الأخرى في مجموعتنا الشمسية بسبب نقص مستويات الأوكسيجين المرتفعة وكذا نقص مصادر الوقود الخشبية المطلوبة لإشعال النيران.

ربما أدّت غابات العصر الفحمي إلى مضاعفة معدّلات التمثيل الضوئي، وأدى هذا بالتبعية إلى مضاعفة ميزانية الطّاقة الإجمالية للغلاف الحيوي، وهو ما سمح بإنتاج المزيد من الكائنات. لقد غيّرت النباتات من آلية تنظيم الحرارة الجيولوجية على كوكب الأرض لأنها سرّعت من تجوية الصخور عن طريق نحتها وتفتيتها إلى تربة يمكنها حمل ثاني أوكسيد الكربون بسهولة إلى المحيطات، ومن هناك امتُصَّ بعض من الكربون إلى طبقة الوشاح. إن الكربون المدفون ليس بوسعه التفاعل مع الأوكسيجين كي يكوِّن ثاني أوكسيد الكربون، ولهذا فقد ارتفعت مستويات الأوكسيجين. لهذا السبب تعتمد كميات الأوكسيجين الحر اليوم على كمّية الكربون المُمتصّة داخل طبقة الوشاح، ومن ثم تميل مستويات الأوكسيجين وثاني

أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى التحرّك في اتجاهات متعارضة. كما أتاحت مستويات الأوكسيجين المرتفعة أيضًا حدوث تفاعلات كيميائية جديدة في القشرة الأرضية، وهو ما أنتج الكثير من أنواع الأملاح المعدنية البالغ عددها أربعة آلاف والموجودة على كوكب الأرض اليوم.

وهكذا بين ٤٥٠ و٣٠٠ مليون عام مضت، منذ نهاية العصر الأوردوفيشي إلى بداية العصر البرمي، غيّرت الغابات والكائنات عديدة الخلايا التي استعمرت اليابسة وجه الكوكب تمامًا، إذ كست القارّات باللون الأخضر وأعادت ضبط آلية تنظيم الحرارة للغلاف الحيوي بحيث اتسمت نهاية دهر البشائر بمستويات أوكسيجين مرتفعة ومستويات ثاني أوكسيد كربون منخفضة.

اتّجاهات عامّة: أجساد أضخم وأدمغة أكبر

تشكّل تاريخ الحياة المعقّدة، مثل تاريخ التعقيد بصفة عامّة، عن طريق الصدفة والحتمية. وتوضح حوادث الانقراض الجماعي الدور المؤثّر الذي لعبته الصدفة. فمن دون هذه الحوادث، كان الغلاف الحيوي اليوم سيبدو شديد الاختلاف عما هو عليه بالفعل. غير أن التطوّر لم يكن يومًا خاضعًا للصدفة وحدها. فبعض التغيّرات أكثر ترجيحًا من غيرها. لذا رغم أن الصدفة شكّلت تاريخ الحياة المعقّدة، فقد كانت هناك بالفعل اتجاهات عامّة ظلّت باقية رغم الاضطراب الذي سببه اصطدام الكويكبات بسطح الأرض والانفجارات البركانية، وحوادث الانقراض الجماعي. وهذه الاتجاهات العامّة لا تقل في أهميتها لنا عن الكوارث المفاجئة.

تمثّل أحد الاتجاهات العامّة في كِبَر الحجم، وهذا هو الاتجاه الذي نتجت عنه الكائنات عديدة الخلايا في المقام الأول. وقد شجع هذا الاتجاه أيضًا تطوّر كائنات أضخم وأضخم، لأن كبر الحجم كان مفيدًا من المنظور التطوّري. فعلى أي حال، الكائنات الضخمة لها مفترسات قليلة. جرب أن تُعمِل أسنانك في حوت أزرق! أيضًا كانت الكائنات الكبيرة تحتاج إلى غذاء أقل لكلّ وحدة من وحدات وزن الجسم، وفي المعتاد من الأسهل لها تجنّب كارثة الجفاف. علاوة على ذلك، فإن منظومة الغلاف الجوي ذات مستويات الأوكسيجين المرتفعة التي ظهرت في بدايات دهر البشائر وفّرت الطاقة الإضافية التي تحتاجها الكائنات الكبيرة عديدة الخلايا. وفي الواقع، يبدو من المرجح أن كائنات شديدة الضخامة قد ازدهرت على النحو الأمثل حين كانت مستويات الأوكسيجين في أعلاها، وهو ما كان يعني

فترات من مستويات ثاني أوكسيد الكربون المنخفضة والمناخات الباردة. وينطبق هذا على المحيطات مثلما ينطبق على اليابسة، لأن الماء البارد يستطيع أن يحمل مزيدًا من الأوكسيجين مقارنة بالماء الدافئ.

ومع ارتفاع مستويات الأوكسيجين، شهدت خطوط تطوّرية عديدة مختلفة ظهور الأجساد الضخمة. وخلال العصر الفحمي والعصر البرمي، نبدأ في رؤية حشرات وفقاريات عملاقة، وفي ذلك الوقت كان من الممكن رؤية يعاسيب تبلغ المسافة بين جناحيها خمسين سنتيمترًا، أو كائنات شبيهة بالعقارب تزن عشرين كيلوجرامًا. وقد ظهرت أولى الزواحف في العصر الفحمي، الذي بدأ منذ ٣٢٠ مليون عام. وقد كانت جزءًا من مجموعة جديدة من الحيوانات، السلويات، التي تتضمّن الزواحف والطيور والثدييات. وخلافًا للبرمائيات، كان بإمكان السلويات التكاثر بعيدًا عن الماء لأن صغارها كانت تنمو داخل بيوض أو أكياس أو أرحام محميّة جيّدًا. وفي النهاية تضمّنت الزواحف بعضًا من أكبر الحيوانات التي مشت، أو تهادت أو ركضت، على الأرض.

كان الانقراض الجماعي الذي وقع في نهاية العصر البرمي متبوعًا بتشعّب تكيّفي جديد خلال العصر الترياسي (بين ٢٥٠ و٢٠٠ مليون عام مضت). وهنا نرى أول الديناصورات الضخمة. (ليست كل الديناصورات ضخمة!) لكن في أواخر العصر الترياسي، بدأت مستويات الأوكسيجين في الانخفاض مجدّدًا، وبدأ الدفء يعمّ العالم، وصارت الحياة أصعب على الكائنات العديدة الخلايا الضخمة. وقد انتهى العصر الترياسي بغتة منذ مائتي مليون عام في حدث انقراض دفيئة جماعي آخر. وقد اكتسبت فصائل الديناصورات التي نجت آليات شديدة الكفاءة للتنفّس في ذلك العالم المحروم من الأوكسيجين. وهذه الآليات ربما هي ما شجّعت السير على قدمين (فكر في التيرانوصور وفي الطيور الحديثة)، لأن الزواحف التي تسير على قائمتين تكون صدورها أعرض ولا يعاق تنفسها بفعل الحركة كما هو الحال في الزواحف المتهادية التي تسير على أربع. وخلال العصر الجوراسي (بين ٢٠٠ و١٥٠ مليون عام مضت)، ارتفعت مستويات الأوكسيجين مجدّدًا، إلى أن وصلت المستويات العالمية الموجودة حاليًّا. وصارت الديناصورات أضخم مجدّدًا. وقد سارت أضخم الديناصورات على الأرض في أواخر العصر الجوراسي وفي العصر الطباشيري، بين ١٦٠ و٦٥ مليون عام مضت. كانت هذه الديناصورات تمتلك رئات أكثر كفاءة من أسلافها التي عاشت في العصر الترياسي، وقد

استهلكت كميات هائلة من الطاقة المتاحة في الغلاف الجوي الغني بالأوكسيجين كي تحرّك أجسامها الضخمة.

تطوّر أول الطيور الحقيقية خلال أواخر العصر الجوراسي، وقد اعتمدت هي أيضًا على مستويات الأوكسيجين المرتفعة في الغلاف الجوي، لأن الطيران، كما يعلم كل طيار، يتطلّب قدرًا كبيرًا من الطاقة. اكتُشفَت حفريات الأركيوبتركس، وهو واحد من أوائل الكائنات الشبيهة بالطيور، في ألمانيا في العام ١٨٦١، بعد عامين فقط من نشر كتاب داروين «أصل الأنواع»، وقد عاش الأركيوبتركس منذ ١٥٠ مليون عام تقريبًا وكان في حجم الغراب. بالنسبة إلى داروين مثَّل هذا الاكتشاف دليلًا دامغًا على صحة نظرية التطوّر عن طريق الانتخاب الطبيعي لأنه بيَّن وجود نوع انتقالي، بين الزواحف والطيور. كان الأركيوبتركس يمتلك سمات عديدة شبيهة بالطيور، غير أنه احتفظ بسمات للزواحف على غرار المخالب والذيل العظمي والأسنان. وقد أوضحت الاكتشافات الحديثة أن العديد من أنواع الطيور ذات الأسنان تطوّرت خلال العصر الطباشيري وعاشت جنبًا إلى جنب مع الديناصورات الطائرة.

ظهرت الثديّيات، مثل غيرها من السلويات الأخرى (الزواحف والطيور)، في أعقاب انقراض العصر البرمي الجماعي. انتهى المطاف ببعض الثديّيات هي الأخرى بامتلاك أجسام ضخمة، غير أن هذا لم يحدث إلا بعد مرور مائتي مليون عام. وقبل ذلك الوقت، كانت الثديّيات تعيش في الأساس في ظلال عالم تهيمن عليه الديناصورات. وخلال العصر الترياسي والجوراسي والطباشيري (بين ٢٥٠ و٦٥ مليون عام مضت)، كانت غالبية الثديّيات عبارة عن كائنات صغيرة تعيش في حفر بالأرض، مثل القوارض في وقتنا الحالي.

إن الثديّيات طائفة من الحيوانات ذات الدم الدافئ تجمعها صلة قرابة بالسلويات الأخرى، الزواحف والطيور. غير أن الثديّيات تختلف عن الزواحف والطيور بطرق عديدة مهمّة؛ فأدمغة الثديّيات بها القشرة الحديثة، وهي تجعل الثديّيات تجيد إجراء الحسابات، كما أن الثديّيات لها فراء (نعم، حتى البشر لهم فراء، لكنه أقل كثيرًا من الثديّيات الأخرى)، وفي الغالب، تعتني الثديّيات بصغارها. وقد كان كارل لينيوس، مؤسّس علم التصنيف الحديث، هو أول من سمى الحيوانات الموجودة في طائفتنا باسم الثديّيات، استنادًا إلى سمة أخرى مميزة لها: فجميع الثديّيات تغذّي صغارها باللبن الذي تفرزه من غددها الثديّية. وبالنسبة إلى علماء

الحفريات، كانت السّمة الفارقة الأبرز لحفريات الثدّيات هي أسنانها، فحتى أوائل الثديّيات كان لأسنانها نتوءات تمكّن الأسنان العلوية والسفلية من التعشيق معًا، وهو ما يمكّنها من مضغ أنواع جديدة من الغذاء وطحنه على نحو أكثر فعالية مقارنة بالزواحف.

تظهر الثديّيات اتجاهًا تطوّريًّا قويًّا آخر، وهو الميل نحو المعالجة الأكثر تعقيدًا للمعلومات. يظهر هذا جليًّا في دهر البشائر، لكنه يتّضح تحديدًا لدى الحيوانات وخصوصًا الثديّيات.

رأينا أن كل الكائنات الحيّة مستهلكة للمعلومات؛ فهي تجمع المعلومات وتعالجها وتعمل وفقًا لها. في الكائنات الأبسط، ومنها بدائيات النوى، تكون المرحلة الثانية (المعالجة) بدائية، وعادة ما تقتصر على شيء أشبه بمفتاح التشغيل/الإغلاق، كما هو الحال على النحو التالي: «الجو حار هنا، لذا حرّك سوطك في اتجاه عقارب الساعة وتحرك بسرعة». وتحكم ردود فعل انعاكسية بسيطة قائمة على المتعة والألم كثيرًا من عمليات معالجة المعلومات الفعلية حتى في الكائنات عديدة الخلايا البسيطة.

لكنْ كلّما صارت الكائنات أكبر حجمًا وأكثر تعقيدًا، احتاجت إلى المزيد من المعلومات من بيئاتها. وقد أمدّ الانتخاب الطبيعي الكائنات الكبيرة بالرغبة في الحصول على مزيد من المعلومات، لأن المعلومات الجيّدة كانت حيويّة لنجاحها. ولهذا السبب حين يحلّ الإنسان أحجية، يحصل دماغه على نفس دفقة المتعة التي يحصل عليها من الغذاء أو الجنس. أيضًا منح الانتخاب الطبيعي الكائنات الكبيرة مزيدًا من المستشعرات علاوة على أنواع جديدة من المستشعرات: للصوت والضغط والحمضية والضوء. وقد طوّر الانتخاب الطبيعي ذخيرة متنامية من الاستجابات الممكنة. ومع ازدياد عدد ونطاق المدخلات والمخرجات، صارت مرحلة المعالجة أكثر تعقيدًا، وبذا كُرِّسَ المزيد من الخلايا العصبية لتلك المهمة. وفي الحيوانات، تجمّعت الأعصاب في عُقَد وكتل عصبية وأدمغة، وشكّلت شبكات من المفاتيح الشبيهة بالترانزستورات التي ربطت بين مئات أو ملايين أو مليارات من الخلايا العصبية التي يمكنها العمل بالتوازي. وقد مكّنها هذا من نمذجة سمات مهمّة للعالم الخارجي بل ونمذجة صور المستقبل المحتملة لها. فلا يتّصل أي كائن ذي دماغ (بما في ذلك أنت وأنا) مباشرة ببيئته المحيطة. وبدلًا من ذلك كلنا نعيش في واقع افتراضي ثري تُنشئه أدمغتنا. فأدمغتنا تولّد وتحدِّث خرائط لأبرز السمات

الخاصة بأجسامنا وبالبيئة المحيطة بنا، على النحو ذاته الذي يضع به علماء المناخ نماذج للبيئات المتغيرة اليوم. وتلك الخرائط تمكّننا من الحفاظ على استقرارنا الداخلي. وهي تساعدنا على الاستجابة بصورة ملائمة، في أكثر الأوقات، إلى تيار التغييرات الدائم الذي يجري حولنا.

تعمل عملية اتّخاذ القرار على مستويات عديدة مختلفة في الكائنات ذات الأدمغة. فبعض القرارات تحتاج إلى اتخاذها سريعًا إذا لم يكن ثمة وقت كافٍ للتدبّر الحريص. وثمة آليات أخرى لاتخاذ القرار تتّسم بكونها أبطأ وأكثر تدبرًا لكنها تقدّم خيارات أكثر. إن مستشعرات الألم البسيطة التي تعمل عمل مفاتيح التشغيل/الإغلاق تتحكّم في كثير من السلوكيات حتى في أعقد الكائنات الكبيرة. فإذا مسّت يدك لهبًا ستبعدها على الفور من دون تفكير في الأمر. والمشاعر، التي يتحكّم فيها الجهاز الحوفي، تسمح أيضًا باتخاذ القرار بسرعة عن طريق غرس ميول وتفضيلات تحرّك العديد من القرارات المهمّة وتختار منها القرار الصحيح في غالبية الأوقات. وقد فهم تشارلز داروين أن المشاعر عبارة عن آليات اتخاذ قرار تطوّرت عبر الانتخاب الطبيعي كي تساعد الكائنات على البقاء. فالظبي الذي يريد أن يعانق الأسود من غير المرجح أن يمرر جيناته إلى أيّ ذرية له. وأبسط المشاعر، تلك الأقل وقوعًا تحت السيطرة الواعية، تبدو وكأنها تعتمل دائمًا في داخلنا، وهي تتضمّن الخوف والغضب والمفاجأة والتقزز؛ وكذلك، ربما، الإحساس بالفرحة. وهذه المشاعر تهيئنا للاستجابة بطرق معيّنة وتبعث الإشارات الكيميائية التي تهيّئ أجسامنا للركض أو التركيز أو الهجوم أو العناق. فالمشاعر تحرّك عملية اتخاذ القرار في جميع الحيوانات ذات الأدمغة الكبيرة، وبعض المشاعر، كالخوف، موجودة على الأرجح في كل الفقاريات وربما في بعض الفقاريات، خاصّة الأكثر ذكاءً منها كالأخطبوط. والتفضيلات التي تغرسها المشاعر نحو نتائج وسلوكيات معيّنة تكمن خلف إحساس البشر بالمعنى والأخلاق.

إن المَلَكة التي نصفها عادة بأنها «العقل» ما هي إلا واحدة من عدّة آليات بيولوجية لاتخاذ القرار. فهي تفصل في القرارات المهمّة إذا كان الدماغ كبيرًا بما يكفي، وإذا توافر كثير من الوقت، وإذا كانت الأجهزة الأخرى عاجزة عن تقديم جواب واضح. هل أنا بحاجة حقًّا إلى إهدار هذا القدر من الطاقة على الركض لو لم يكن ذلك أسدًا حقًّا؟ هل خصمي يهدّدني تهديدات فارغة أم عليَّ الاستجابة لها؟

إن الإحساسات والمشاعر والفكر كلّها تخلق العالم الداخلي الذاتي الذي يستشعره كل البشر، وكذلك غالبية الأنواع ذات الأدمغة الكبيرة. والحالة التي نصفها بأنها «الوعي» تبدو وكأنها نظام من الانتباه شديد التركيز الذي يستدعيه الدماغ، وكأنه استدعاء أمام محكمة، عندما توجد قرارات جديدة وصعبة ومهمة يجب اتخاذها. وهذا يقترح أن الوعي يكون حاضرًا بدرجة ما في العديد من الكائنات التي تكون أدمغتها كبيرة بما يكفي كي تقدّم مساحة العمل الضرورية لعملية اتخاذ القرار المعقَّد بحق. لكن لا حاجة له في حالة القرارات الروتينية.

وإذا أضفتَ الذاكرة إلى منظومات اتّخاذ القرار هذه، سيكون لدينا أسس التعليم المعقّد، القدرة على تسجيل نتائج القرارات السابقة واستخدام هذه السجلات في اتخاذ قرارات أفضل مستقبلًا. على سبيل المثال، يقوم نوع من الأسماك يُعرف باسم سمك الرأس المنظِّف بتنظيف أسنان أسماك من الممكن بسهولة أن تلتهمه. لكن على هذا السمك أن يتعلّم أيّ الأسماك لن يلتهمه ومن الممكن أن يقدم له وجبة مجانية من الطعام العالق بين أسنانه. بإمكان الذاكرة تخزين نتائج القرارات المتَّخَذة بصورة واعية واستخدامها في استجابات سريعة أوتوماتيكية، فبمجرّد أن تتعلّم كيف تقود السيارة، لن يكون عليك التفكير في قائمة مهمات طويلة حين ترى إشارة حمراء، فجسدك يستجيب على الفور، ولن تلاحظ حتى قدمك وهي تضغط على المكابح.

تطوّرت منظومات النمذجة واتخاذ القرار المعقّد هذه خلال دهر البشائر، وقد تطوّرت على نحو مبهر لدى الحيوانات، لأن الحيوانات يتعيّن عليها اتخاذ قرارات أكثر بكثير من تلك التي تتّخذها النباتات. في غالبية اللافقاريات، ظلّت الشبكات العصبية موزعة في أرجاء الجسد، رغم أنها تركّزت في المعتاد في كتل أو عُقَد عصبيّة. وبعض اللافقاريات، كالأخطبوط، لديها أجهزة قوية لمعالجة المعلومات مكوِّنة من هذه الشبكات، وغالبية الخلايا العصبية للأخطبوط موجودة في أذرعه. وفي الفقاريات أيضًا، العديد من الخلايا العصبية موزّعة في أعماق الجسم، حيث تتّصل بخلايا الاستشعار وخلايا الحركة التي تنفّذ القرارات. لكن بينما تضاعفت أعداد المستشعرات وصارت المعالجة أكثر تعقيدًا، تجمّعت أعداد متزايدة من الخلايا العصبيّة في الأدمغة، وهناك صارت بمنزلة معالِجات متخصّصة للمعلومات. وقد كانت معالجة المعلومات مهمّة تحديدًا في سلالة الطيور والثدييّات

المعقّدة والنهمة للطاقة، رغم أن هذه الأنواع المختلفة من الكائنات قد طوّرت منظومات فرعية مختلفة للتعاطي مع البيانات الضخمة.

في الثدييات، تساعد الأهمية المتزايدة لمعالجة المعلومات في تفسير تطوّر ونمو القشرة الدماغية، والمادّة الرمادية، والطبقات الخارجيّة للدماغ. فالقشرة الدماغيّة توفّر مساحات كبيرة للحسابات وللمزيد من القدرة الحسابية، وبذا فقد أتاحت حلّ المشكلات على نحو أفضل في مواقف غير مألوفة أو عندما تصل منظومات اتخاذ القرار إلى طريق مسدود. وفي النهاية، طوّرت الحيوانات ذات الأدمغة الكبيرة منظومات لمعالجة المعلومات ولحلّ المشكلات كانت تمثّل لعالم البكتيريا ما يمثّله الإنترنت لجهاز الحساب البدائي. وقد أدى تطوّر المنظومات المحسّنة لحل المشكلات ومعالجة المعلومات إلى انفجار معلوماتي أطلقه نوعنا الاستثنائي.

كويكب يضرب الأرض: الثدييات المحظوظة

لوقت طويل، بدا أن القوة العضلية للديناصورات تتغلّب على أدمغة الثدييات. لكن منذ خمسة وستين مليون عام تغيّر كل شيء في لمح البصر.

فقد اختفى عالم الديناصورات في غضون ساعات قليلة حين اصطدم بالأرض كويكب يتراوح قطره بين عشرة وخمسة عشر كيلومترًا. تسبّب الاصطدام في حدوث انقراض جماعي عظيم، اختفى خلاله نصف الأجناس الموجودة على سطح الأرض. يشير الجيولوجيون إلى هذا الحادث باسم حادث انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي لأنه وقع على الحد الفاصل بين العصر الطباشيري (واختصاره بالإنجليزية K، من الكلمة الألمانية Kreide بمعنى طباشير) والعصر الثلاثي، وهو الاسم القديم لحقبة الحياة الحديثة التي بدأت منذ خمسة وستين مليون عام.

حين اصطدم الكويكب بالأرض، كان يتحرّك بسرعة ثلاثين كيلومترًا في الثانية (نحو مائة ألف كيلومتر في الساعة)، واستغرق ثواني معدودات كي يجتاز الغلاف الجوّي للأرض. نحن نعرف أين سقط تحديدًا: في فوهة تشيكشولوب في شبه جُزَيْرة يوكاتان في المكسيك اليوم. وقد تبخّر الكويكب حين اخترق القشرة الأرضية، تاركًا فوهة تناهز في عرضها نحو مائتي كيلومتر. اندفعت الصخور المنصهرة في الهواء، حيث شكّلت سحبًا من الغبار حجبت ضوء الشمس لأشهر عدة. تبخر الحجر الجيري، مطلقًا ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وفي

منطقة مساحتها مئات الكيلومترات حول الاصطدام اختفت كل مظاهر الحياة، وعلى مسافة
مئات الكيلومترات من تلك المنطقة، اشتعلت الغابات بحرائق هائلة، وفي المحيطات، شكّلت موجة تسونامي جدارًا من الماء سحق شواطئ خليج المكسيك وقتل الأسماك والديناصورات على مسافة مئات الكيلومترات. وفي تكوين هيل كريك، في مونتانا وايومينج، يمكنك العثور على حفريات لأسماك تمتلئ خياشيمها بالزجاج الناتج عن اصطدام الكويكب بالأرض(٩٩).

على مسافات أبعد، كانت الاصطدامات المباشرة أقل وطأة. لكن في غضون أسابيع كان الغلاف الحيوي قد تغير تمامًا؛ فقد حجب السخام ضوء الشمس، مسبِّبًا ما يمكن أن نطلق عليه اليوم اسم الشتاء النووي. أمطرت السماء حمض النيتريك، الذي قتل غالبية الكائنات التي مسّها، وغرق سطح الأرض في ظلام دامس لعام أو عامين، وهو ما أوقف عملية التمثيل الضوئي، حبل النجاة الذي يربط الحياة بالشمس. وحين هدأت حدّة الغبار، وبدأ الضوء يشقّ طريقه عبره، أخذت الأرض تسخن بسرعة، لأن الغلاف الجوّي صار يحتوي الآن على قدر أكبر من ثاني أوكسيد الكربون والميثان. وبعد بضعة أعوام من الاصطدام، استطاعت الكائنات البائسة الناجية البدء في عملية التمثيل الضوئي والتنفّس مجددًا، غير أنها فعلت هذا في عالم حار عامر بغازات الدفيئة.

لا بد أن الغلاف الحيوي قد استغرق آلاف الأعوام كي يعود إلى وضع قريب من وضعه الطبيعي. في الوقت ذاته، ربما اختفى نصف عدد الأجناس الموجودة في السابق تمامًا. وكما هو معتاد في مثل هذه الأزمات فقد تعرّضت الأنواع الكبيرة إلى ضربات قوية، لأنها احتاجت مزيدًا من الطاقة، وكانت أقل عددًا، وكانت تتكاثر على نحو أبطأ من الكائنات الصغيرة الحجم، ولهذا السبب هلكت الديناصورات الضخمة. غير أن الطيور الحديثة منحدرة من الديناصورات الأصغر، التي استطاع بعضها النجاة. أما الكائنات الأصغر حجمًا، كالثدييات الشبيهة بالقوارض، فقد أبلت بلاء حسنًا، وصار بعضها أسلافنا.

أوّل الأدلة على اصطدام الكويكب تم العثور عليها في صخور في إيطاليا على يد الجيولوجي والتر ألفاريز وفريقه. كان الجيولوجيون يعرفون بالفعل بوجود اختلافات بارزة بين الصخور التي تعود إلى ما قبل الحدّ الفاصل عند نهاية العصر الطباشيري وتلك التي تعود إلى ما بعد هذا الحدّ. فحفريات العوالق المعروفة باسم

المنخريات كانت شائعة في الطبقات الأقدم السابقة على ذلك التاريخ، غير أنها اختفت تمامًا بعده، وما لم يكن واضحًا هو ما إذا كان التغيّر قد استغرق عشرات الآلاف من الأعوام أم مجرد عام أو اثنين. وفي العام ١٩٧٧، وفي موقع قريب من جوبيو بإيطاليا، عثر فريق ألفاريز على مستويات شديدة الارتفاع من عنصر الإيريديوم النادر، تعود إلى نهاية العصر الطباشيري تمامًا. كان هذا أمرًا عجيبًا، لأن عنصر الإيريديوم يندر وجوده على الأرض، رغم أنه شائع الوجود في الكويكبات. وقد عثر ألفاريز وفريقه على مستويات عالية بالمثل من الإيريدوم في العديد من المواقع الأخرى في إيطاليا، ونعرف الآن بوجود ما لا يقل عن مائة موقع مشابه حول العالم. بدا الأمر وكأن الإيريدوم قد جاء به كويكب ما. وأشار هذا إلى وقوع حدث كارثي.

في ذلك الوقت، كانت غالبية الجيولوجيين على قناعة بالفكرة القائلة بأن كل صور التغيّر الجيولوجي كانت تدريجية، لذا لم يعتنق فكرة الحادث الكارثي إلا قلة منهم. لقد كان الجيولوجيون يريدون إثباتًا مباشرًا، دليلًا جيولوجيًّا دامغًا. وقد تحقّق هذا في العام ١٩٩٠ حين تبين أن فوهة تشيكشولوب كان لها الحجم المناسب وأنها تكوّنت في التاريخ المناسب تمامًا. ومنذ ذلك الحين، تقبل غالبية الجيولوجيين أن كويكبًا ضخمًا قد تسبّب في القضاء على الديناصورات، وكذلك أن مثل هذا الحادث الكارثي ربما وقع عدة مرات على مدار تاريخ الأرض. وبالفعل، ثمّة دليل على حدوث انفجارات بركانية عنيفة عند الحدِّ الفاصل بين العصر الطباشيري والعصر الثلاثي، وربما أضعفت هذه الانفجارات البركانية من صحّة الغلاف الحيوي، لكن لا وجود لشك الآن في أن الضربة القاصمة قد سببها اصطدام كويكب بالأرض.

كان عالم ما بعد اصطدام تشيكشولوب عالمًا تطوّر فيه أسلافنا من الثدييات. هذا هو عالم حقبة الحياة الحديثة، التي غطّت الأعوام الخمسة والستين مليونًا الماضية من تاريخ الأرض.

ما بعد الكويكب: تشعّب تكيّفي للثدييات

باعتبارنا من الثدييات، نتشارك نحن البشر ٩٠ بالمائة من جيناتنا، أو نحو ثلاثة مليارات زوجٍ قاعديٍّ من الـ«دي إن آيه»، مع الثدييات الأخرى، من الفئران إلى الراكون. وفي موضع ما من العشرة بالمائة المتبقية من الـ«دي إن آيه» توجد الجينات التي تجعلنا مختلفين.

نحن من ذوي الدم الحار، مثل كل الثدييّات، وهو ما يعني أننا نحتاج إلى مزيد من الطّاقة مقارنة بالزواحف من أجل الإبقاء على درجة الحرارة مرتفعة وأدمغتنا تعمل. إن أدمغتنا يجب أن تكون قوية، لأنه يتعيّن عليها ابتكار الكثير من الحيل الإيكولوجية من أجل الإبقاء على هذه التدفّقات الكبيرة من الغذاء والطاقة. ورغم أن أول الكائنات الشبيهة بالثدييّات لم تكن أكبر من الفئران، فإنها كانت بالفعل ترعى صغارها، مثل ثدييات اليوم، وكانت تمتلك أدمغة كبيرة مقارنة بحجم أجسامها. والفاصل الأساسي بين الجرابيات (وهي ثدييّات يحتاج صغارها إلى حماية وتغذية خاصّة، عادة في أكياس) والمشيميّات (الثدييّات التي يتغذّى صغارها داخل أرحام عبر مشيمة) يعود إلى ما لا يقل عن ١٧٠ مليون عام مضت.

خلال المائة وخمسين مليون عام الطويلة التي استغرقها العصران الجوراسي والطباشيري، ظلّت غالبية أنواع الثدييّات صغيرة الحجم، تركض عبر الشجيرات النامية التي يغمرها ضوء القمر. كان لها أشكال عديدة متباينة؛ فكان بعضها شبيهًا بالكلاب، مثل الربنومام، وهو كائن كبير بما يكفي بحيث كان يلتهم الديناصورات الصغيرة وصغارها، وبعض الثدييات كان يسبح، وعاد إلى المحيطات، وبعضها كان شبيهًا بالوطواط، وبعضها كان يأكل الحشرات، وبعضها كان يتسلّق الأشجار. ومنذ ١٥٠ مليون عام تقريبًا، تغيّر عالم الثدييّات نتيجة تطوّر أنواع جديدة من النباتات التي نافست الصنوبريات والأشنات التي هيمنت على الكوكب حتى ذلك الوقت. فقد كانت هذه النباتات من كاسيات البذور، أي نباتات لها ثمار وأزهار، وهي نوعيّة النباتات التي تهيمن على الغابات والأدغال، ومتنزّهات وحدائق اليوم. وفّرت النباتات المزهرة دفعة غذائية لهذه الثدييّات التي لها أسنان مصمّمة لمضغ الفاكهة والبذور أو أنواع الحشرات العديدة التي تلتهم هي الأخرى النباتات المزهرة أو كانت تساعد في تلقيحها.

ربما تسبّب الكويكب الذي أفنى الديناصورات كذلك في محو ثلاثة أرباع كل أنواع الثدييات الموجودة وقتها. غير أن غالبية الثدييّات كانت صغيرة الحجم، لذا فقد استطاعت تفادي هذه الأزمة التطوّرية. وبعد أن عاد الكوكب إلى وضع مقارب للوضع الطبيعي، وجدت الأنواع الناجية من اصطدام تشيكشولوب نفسها في عالم جديد عجيب. فمع غياب الديناصورات، لاحت في الأفق فرص جديدة. فقد مرّت الثدييّات بعملية تشعّب تكيّفي جديدة وظهر منها أنواع جديدة، تمامًا كما يحدث اليوم إذ تزدهر الشركات الصغيرة فيما لو أعلنت كل الشركات الكبيرة إفلاسها.

أخذت أنواع عديدة من الثدّيات تكبر في الحجم، وفي غضون نصف مليون عام كانت هناك ثدّيات عاشبة في حجم الأبقار، وكذلك ثدّيات لاحمة كبيرة بالمثل. ظهرت الرئيسيات كذلك، وهي رتبة الثدّيات التي تقطن الأشجار وتأكل الفاكهة والتي ننحدر منها. ورغم أن الرئيسيات الأولى كانت موجودة بالفعل في عالم الديناصورات، فإنها لم تزدهر إلا بعد أن غادرت الديناصورات الساحة.

كانت هناك أزمة واحدة أخيرة قبل أن تستطيع الثدّيات السيطرة على الأرض. تمثّلت هذه الأزمة في فترة الاحترار الفاصلة بين عصري الباليوسين والإيوسين، وهي صدمة قصيرة حادّة من الاحترار الناجم عن غازات الدفيئة وقعت عند الحدِّ الفاصل بين عصري الباليوسين والإيوسين، منذ نحو ستة وخمسين مليون عام. وقد دفعت هذه الفترة عدّة أنواع إلى الانقراض. وهذه الفترة محلّ اهتمامنا اليوم لأنها أحدث فترات الاحترار الناجم عن غازات الدفيئة في تاريخ الأرض، لذا فربما تساعدنا في فهم التغيّر المناخي اليوم. إن أوجه الشبه مخيفة. فكمّيات ثاني أوكسيد الكربون التي أُطلقَت في الغلاف الجوي خلال فترة الاحترار الفاصلة بين عصري الباليوسين والإيوسين مشابهة لتلك التي يجري إطلاقها اليوم نتيجة حرق الوقود الأحفوري، ومنذ ستة وخمسين مليون عام تمثّلت النتيجة في زيادة تتراوح بين خمس وتسع درجات مئوية في متوسط درجة الحرارة العالمي.

ما الذي سبّب هذا الاحترار المفاجئ؟ كان النشاط البركاني شديدًا بشكل غير معتاد في الفترة الممتدة بين ٥٨ و٥٦ مليون عام مضت، وزاد ثاني أوكسيد الكربون المنبعث من البراكين من مستويات ثاني أوكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي. لكن حينئذٍ حدث شيء ما بسرعة، في فترة لا تتجاوز عشرة آلاف عام،

وهي فترة تماثل الوقت المنقضي من تاريخ البشر منذ ظهور الزراعة. وفي نهاية تلك الفترة، كان العديد من أنواع النباتات والحيوانات والكائنات البحريّة قد اختفى. أفضل تخمين نمتلكه حاليًّا هو أن المحيطَين القطبيَّين قد سخنا إلى نقطة ذابت فيها هيدرات الميثان فجأةً (وهي كرات متجمّدة من الميثان تبدو مثل الجليد لكنها تشتعل إذا أشعلتها)، وأطلقت كميات كبيرة من الميثان، وهو غاز من غازات الدفيئة أقوى من الكربون. أدى هذا إلى احترار كل شيء بسرعة كبيرة. وإذا كانت هذه القصة صحيحة، فعلينا أن نحذر بشدة من هيدرات الميثان الموجودة في المحيطَين القطبيَّين اليوم.

وبعد ارتفاع حاد استمر لنحو مائتي ألف عام، بدأت درجات الحرارة العالمية انخفاضها البطيء الطويل، تخلّلته فترات معاكسة من الارتفاع. بدأت مستويات ثاني أوكسيد الكربون في الانخفاض مجدّدًا، بينما ارتفعت مستويات الأوكسيجين. كما زاد الفارق في درجات الحرارة بين خط الاستواء والمنطقتين القطبيَّتين، وانتشر الجليد في كل من القطبين الشمالي والجنوبي، محتجزًا الماء في الأنهار الجليدية، وبذا انخفضت مستويات المحيطات.

تمثّل أحد أسباب برودة المناخ في التغيّرات الحادثة في الدورات المدارية وإلى ميل محور الأرض نفسه. تعرف هذه التغيّرات باسم دورات ميلانكوفيتش، على اسم العالِم الذي وصفها أول مرة. ومع تغيّر مدار الأرض ومحور ميلها، فإن الطاقة التي تصل إلى الأرض من الشمس تغيّرت بطرق مؤثّرة. ربما لعبت العمليات التكتونية دورًا هي الأخرى، مع اتساع المحيط الأطلسي، وانقسام قارة جُندوانا الجنوبية الكبيرة إلى القارات المنفصلة الحديثة. استقرّت القارة القطبية الجنوبية عند القطب الجنوبي، ووفّرت منصة لمراكمة ألواح ضخمة من الجليد، بينما دارت القارات الشمالية حول المحيط القطبي، وعزلت المنطقة القطبية الشمالية عن التيارات الاستوائية الدافئة. في الوقت عينه فإن اصطدام الصفيحة الهندية بآسيا تسبب في تكوين جبال الهيمالايا، وهو ما سرَّع من عملية التجوية، وزاد من المعدّل الذي ينتقل به الكربون من الهواء إلى البحر ثم إلى القشرة الأرضية.

ربما ساعدت الكائنات الحيّة أيضًا في برودة الغلاف الحيوي. ففي الثلاثين مليون عام الماضية، ومع انخفاض مستويات ثاني أوكسيد الكربون، تطوّرت أنواع جديدة من النباتات، منها الحشائش التي تغطي السافانا المعاصرة ومروج الضواحي. وقد استخدمت هذه النباتات نوعًا جديدًا من التمثيل الضوئي -التمثيل الضوئي رباعي الكربون- كان أكثر كفاءة من التمثيل الضوئي ثلاثي الكربون الذي تستخدمه الأشجار والشجيرات. ولأنه كان أكثر كفاءة، فقد امتصّ مزيدًا من الكربون من الغلاف الجوي.

وبصرف النظر عن السبّب المحدّد، فقد بدأ الاتجاه نحو البرودة منذ نحو خمسين مليون عام ولا يزال مستمرًّا إلى وقتنا الحاضر. ومنذ نحو ٢,٦ مليوني عام، في بداية العصر الحديث الأقرب، أو البليستوسين، دخل العالم في المرحلة الحاليّة من العصور الجليديّة الدوريّة. لم يسبق للعالم أن كان بهذه البرودة لنحو ٢٥٠ مليون

عام، منذ أن انقسمت قارة بانجايا نفسها في نهاية العصر البرمي. ومنذ خمسين مليون عام، في ذلك العالم الذي أعقب اختفاء الديناصورات وفترة الاحترار الفاصلة بين عصري الباليوسين والإيوسين، ذلك العالم البارد ذي التغيّرات المناخيّة المتذبذبة، تطوّر أسلافنا من الرئيسيات.

الجزء الثالث : نحن

الفصل السابع : البشر: المحطّة السادسة

اللغة المشتركة تربط أفراد أي مجتمع في شبكة لمشاركة المعلومات ذات قدرات جماعية هائلة.

ستيفن بينكر The Language Instinct

تمتلك البشرية بأسرها سمة مشتركة قد يأمل المؤرّخون في فهمها بنفس الرسوخ الذي يتفهّمون به ما يوحِّد أي مجموعة أدنى.

ويليان إتش ماكنيل، «Mythistory»

شكَّلَ ظهور البشر في قصة الأصل التي نرويها حدثًا فاصلًا. فقد وصلنا منذ بضع مئات الآلاف من الأعوام وحسب، غير أننا في سبيلنا اليوم إلى تغيير وجه الغلاف الحيوي تغييرًا جذريًّا. في الماضي، أحدثت مجموعات كاملة من الكائنات، كالزراقم، تغييرًا في الغلاف الحيوي، غير أنه لم يسبق لنوع وحيد أن امتلك مثل هذا التأثير. كما أننا نفعل شيئًا جديدًا بالكامل؛ فنظرًا لأننا كبشر نستطيع التشارك في الخرائط الفردية للبيئة المحيطة بنا، فقد بنينا فهمًا جماعيًّا ثريًّا للمكان والزمان يقع خارج كل قصص الأصل التي نرويها. وهذا الإنجاز، الذي يتفرّد به نوعنا في ما يبدو، يعني أن ثمة جزءًا ضئيلًا من الكون اليوم يشرع في فهم نفسه.

لن يتناول سردنا لتاريخ البشر تلك الأشياء التي عادة ما يناقشها المؤرخون: الحروب والزعماء، الدول والإمبراطوريات، أو تطوّر التقاليد الفنّيّة والدينيّة والفلسفيّة المختلفة. بدلًا من ذلك سنظلّ ملتزمين بالأفكار الرئيسية لقصّة الأصل الحديثة الخاصّة بنا. سوف نشاهد ظهور أشكال جديدة من التعقيد، أنتجها هذه المرة نوع جديد استخدم المعلومات بطرق جديدة كي يصل إلى تدفّقات أكبر وأكبر من الطاقة. وسنرى كيف بدأ البشر، الذين ترابطوا في البداية في مجتمعات محلية لكن في النهاية عبر العالم أجمع، في تغيير وجه الغلاف الحيوي، ببطء في البداية، ثم بصورة أسرع، إلى أن صرنا اليوم نوعًا قادرًا على تغيير الكوكب. لا يزال من غير الواضح كيف سنستخدم نحن البشر هذه القدرة، غير أننا نعرف بالفعل أن البشر، وفي الحقيقة الغلاف الحيوي كلّه، يمر بلحظة من التغيير العميق، بل وربما العنيف.

كيف وصلنا إلى هنا؟ باستطاعة قصّة الأصل الحديثة الخاصّة بنا أن تساعدنا على تبيّن موقعنا عن طريق وضع تاريخ البشر داخل سياق قصّة أكبر بكثير

لكوكب الأرض والكون بأسره. وبإمكان هذه النظرة من علٍ أن تساعدنا في رؤية ما يجعلنا مختلفين.

تطوّر الرئيسيّات في عالمٍ آخذٍ بالبرودة

من الناحية الثقافية، نتّسم نحن البشر بتنوّع شديد، وهذا جزء من قوّتنا. لكن من الناحية الوراثية، نحن أكثر تجانسًا من أقرب أقربائنا الأحياء: الشمبانزي والغوريلا وإنسان الغاب. كل ما في الأمر أنه لم يمض علينا وقت كبير بما يكفي لكي نتنوّع بصورة أكبر. علاوة على ذلك، نحن كائنات اجتماعية بدرجة كبيرة، ونحب الترحال، لذا تحرّكت الجينات البشرية بحرية كبيرة من مجموعة إلى أخرى.

نحن ننتمي إلى رتبة الرئيسيات، التي تتضمّن الليمور والسعادين والقردة العليا. ونشترك في أمور كثيرة مع أقربائنا الآخرين في رتبة الرئيسيات. من المؤكّد بصورة شبه تامّة أن أولى الرئيسيات عاشت في الأشجار، ويحبّ البشر الصّغار السنّ (ولا أستثني نفسي) تسلّق الأشجار ويجيدونه. ومن أجل تسلّق الأشجار أنت بحاجة إلى أيدٍ وأصابع، أو أقدام وأصابع أقدام يمكنها الإمساك. وإذا كنت ستقفز من فرع شجرة إلى آخر، فسيكون من المفيد أن تمتلك رؤية مجسَّمة حتى يمكنك تقدير المسافات، ويعني هذا امتلاك عينين اثنتين في مقدّمة الوجه، لهما خطا رؤية متقاطعين. (لا تجرب القفز من فرع إلى آخر وأنت تغمض إحدى عينيك). ومن ثم تمتلك جميع الرئيسيات: أيادٍ وأقدامٍ يمكنها الإمساك وأوجهٍ مسطّحة فيها أعين في المقدّمة.

تتّسم الرئيسيات بأدمغة كبيرة الحجم بصورة استثنائية؛ إذ تكون أدمغتها كبيرة على نحو غير معتاد نسبةً إلى أجسامها، وتتّسم الطّبقة الأمامية العليا للدماغ، القشرة الحديثة، بأنها ضخمة الحجم. في غالبية أنواع الثدييات تمثّل القشرة أكثر من ٥٠ بالمائة من الدماغ، بينما في البشر تصل إلى ٨٠ بالمائة. ويتفرَّد البشر من حيث عدد الخلايا العصبية الموجود في القشرة؛ إذ يوجد فيها نحو خمسة عشر مليار خليّة عصبيّة، أي أكثر من ضعف عددها لدى الشمبانزي (نحو ستة مليارات). تأتي الحيتان والأفيال بعد البشر من حيث عدد الخلايا العصبية الموجودة في القشرة، إذ تمتلك نحو عشرة مليارات خليّة عصبيّة، غير أن أدمغتها أصغر من أدمغة الشمبانزي عند مقارنتها بحجم الجسم. والأدمغة الأكبر تعني أن

الرئيسيّات تجيد عمليّات اكتساب المعلومات المتعلّقة بالبيئة المحيطة وتخزينها واستخدامها.

لماذا تتّسم أدمغة الرئيسيّات بأنها كبيرة إلى هذه الدرجة؟ قد يبدو هذا سؤالًا بديهيًّا. أليست الأدمغة شيئًا مفيدًا؟ ليس بالضرورة، لأنها تستهلك كميات ضخمةً من الطاقة. فهي تحتاج إلى مقدار من الطاقة أكثر بعشرين مرة من المقدار الذي تحتاجه كمية مكافئة من النسيج العضلي. وفي الأجسام البشرية، يستهلك الدماغ ١٦ بالمائة من الطاقة المتاحة، رغم أنه لا يمثل أكثر من ٢ بالمائة من كتلة الجسم. ولذلك، عند الاختيار بين القوة العضلية وحجم الدماغ، كان التطوّر يفضّل عادة امتلاك قدر أكبر من العضلات وقدر أقل من الدماغ. ولهذا السبب قلّة قليلة من الأنواع تمتلك أدمغة كبيرة الحجم، وبعض الأنواع لا تكترث بالأدمغة إلى درجة أنها تعامل معها كرفاهيّة يمكن الاستغناء عنها. فثمة نوع من البزّاقات البحرية تكون لها أدمغة غاية في الصغر، وهي تستخدم هذه الأدمغة بينما ترتحل في البحار وتبحث عن مستقر لها تستطيع فيه الحصول على الغذاء، لكن بمجرد أن تجد مستقرًّا لها، فإنها لا تكون بحاجة إلى هذه الأداة المكلفة ... لذا فهي تأكل أدمغتها. (يتندّر البعض، بقسوة، قائلين إن حالها يشبه حال الأساتذة الجامعيين الذين حصلوا على وظائف أكاديمية دائمة).

ومع ذلك فإن أدمغة الثدييات يبدو أنها تدفع ذلك المقابل بطريقتها الخاصة. فهي مطلوبة من أجل السيطرة على تلك الأيدي والأقدام البارعة. وفي كل نوع يمتلك القدرة على الإبصار، ثمة حاجة إلى الأدمغة من أجل معالجة الصور (أهذه خوخة ناضجة بعد ثلاث شجرات؟)، لأن الصور تستهلك قدرة معالجة كبيرة في الأدمغة مثلما تفعل في الحاسبات. والأهم من هذا أن الرئيسيّات كائنات اجتماعيّة، لأن العيش في مجموعات يقدّم الحماية والدعم. ولقد زاد ضغط العيش في مجموعات كبيرة في المناطق المفتوحة والمكشوفة، مثل السهول والغابات الممتدّة التي هيمنت على عالم ما بعد فترة الاحترار الفاصلة بين عصري الباليوسين والإيوسين. من أجل العيش بنجاح مع أفراد آخرين من نوعك، عليك أن تتابع باستمرار العلاقات المتغيّرة بين أفراد العائلة والأصدقاء والأعداء. من يمتلك مكانة مرتفعة ومن يمتلك مرتبة متدنية؟ من يتّسم بالودِ ومن ليس كذلك؟ من يدين لي بمعروف ومن أدين له بمعروف؟ هذه مهمات حاسوبية تزداد تعقيدًا بدرجة هائلة كلما كانت

المجموعة أكبر. فإذا كان يوجد ثلاثة أفراد آخرين وحسب، فستتمكّن من التأقلم مع هذا، لكن لو كان ثمة خمسون أو مئة فرد، تكون الحسابات أصعب كثيرًا.

وكي تعيش في مجموعة، أنت بحاجة كذلك إلى امتلاك فكرة عما يدور في أدمغة الآخرين. وربما مثَّل استكشاف أفكار ومشاعر الآخر خطوة مهمة نحو الوعي، ذلك الإدراك المحسَّن لما يحدث في عقولنا. وتبيّن الملاحظة الوثيقة لمجتمعات الرئيسيّات أنك لو أخطأت في هذه الحسابات الاجتماعية، فستحظى بطعام أقلّ جودة، وحماية أقلّ، وستتعرّض للأذى بصورة أكبر، وستقلّ فرصك في التمتّع بالصّحة وبأن يكون لك ذرية تتمتّع بالصّحة. ومن ثم يبدو أن الاندماج الاجتماعي والتعاون والقدرة الدماغية كلّها تطوّرت معًا في تاريخ الرئيسيّات. وفي الواقع، يبدو أن ثمة علاقة ارتباط بين حجم مجموعات الرئيسيّات وحجم أدمغتها. ومن الواضح أن العديد من سلالات الرئيسيّات رحّبت بدفع المزيد من ضريبة الإنتروبيا، ضريبة الدماغ، ما دام هذا يمكّنها من العيش في مجموعات أكبر.

تطوّرت أولى الرئيسيات على الأرجح قبل انقراض الديناصورات، غير أن أولى حفريات الرئيسيّات تعود إلى عدة ملايين من الأعوام عقب اصطدام كويكب تشيكشولوب بالأرض. نحن ننتمي إلى مجموعة الرئيسيّات عديمة الذيل الكبيرة المعروفة بالقردة، وقد تطوّرت القردة منذ نحو ثلاثين مليون عام وازدهرت وتشعّبت

في أفريقيا وأوراسيا منذ عشرين مليون عام. وتتضمّن القردة العليا اليوم كلًّا من إنسان الغاب والغوريلا والشمبانزي، علاوة على البشر. وقد تطوّرت أسلافها في عالم ما بعد فترة الاحترار الفاصلة بين عصري الباليوسين والإيوسين الذي انخفضت فيه مستويات ثاني أوكسيد الكربون وكانت مناخاته أبرد وأقل تنبؤًا. وقد ضغط عدم الاستقرار المناخي بقوّة على عملية التطوّر، وأجبر العديد من الأنواع المختلفة على التكيّف بسرعة وبوتيرة متكرِّرة. ومنذ نحو عشرة ملايين عام مضت، صارت المناخات أكثر جفافًا وبرودة مما تحتمل العديد من سلالات القردة العليا، وقلّت أعداد هذه السلالات، ربما بشكل فادح، بينما حلّت السهول العشبية محلّ الغابات التي كانت تستوطنها. وقد كان أسلافنا هم الناجين من هذه المسيرة التطوّرية الإجبارية.

قبل سبعينيات القرن العشرين، كانت غالبية علماء الحفريات مقتنعين من واقع الأدلة الحفرية بأن البشر انفصلوا عن القردة العليا الأخرى منذ ما لا يقل عن

عشرين مليون عام. لكن في العام ١٩٦٨، بيَّنَ اثنان من علماء الوراثة، هما فنسنت ساريش وآلان ويلسون، أن بإمكاننا تقدير الوقت الذي انفصل فيه أي نوعين عن طريق مقارنة الحمض النووي للنوعين الموجودين على قيد الحياة اليوم. وسبب هذا هو أن الامتدادات الكبيرة من الحمض النووي، خاصّة تلك الأجزاء التي لا تشفِّر الجينات، تتغيّر عشوائيًّا وبوتيرة منتظمة نسبيًّا. وقد بيّنت المقارنات الوراثية التي قامت على هذه الأفكار أن البشر والشمبانزي والغوريلا تشاركت في سلف مشترك حتى ثمانية ملايين عام مضت، وفي ذلك الوقت انفصلت أسلاف الغوريلا الحديثة. تشارك البشر والشمبانزي في سلف مشترك حتى ستة أو سبعة ملايين عام مضت. بعبارة أخرى، في مكان ما من أفريقيا منذ ستة أو سبعة ملايين عام، كان يوجد كائن انحدر منه البشر والشمبانزي المعاصرون. لا نمتلك بعد بقايا حفرية لهذا الكائن، غير أن علم الوراثة الحديث يخبرنا أنه كان موجودًا بالفعل.

لا يزال البشر والشمبانزي المعاصرون يتشاركون في أكثر من ٩٦ بالمائة من جينوميهما. لكن في ظلّ وجود ثلاثة مليارات زوج قاعدي في كل جينوم، يعني هذا أن ثمة خمسة وثلاثين مليونًا من الأحرف الوراثية، أو الأزواج القاعدية، مختلفة. وبين ثنايا هذه الأحرف الوراثية المتباينة تكمن الإشارات التي يمكن أن تخبرنا بسبب امتلاك البشر والشمبانزي لهذين التاريخين الشديدي الاختلاف، خاصّة في الألفيات الأخيرة. فلماذا اختُزل أقرب أقربائنا إلى بضع مئات من الآلاف بينما زاد عدد البشر إلى أكثر من سبعة مليارات، وهيمنوا على الغلاف الحيوي؟

تاريخ أشباه البشر المبكرين: متى ظهر أوائل البشر؟

كل الأنواع الواقعة على جانب البشر من الفاصل التطوّري بين البشر والشمبانزي تُعرَف باسم أشباه البشر. وفي الأعوام الخمسين الماضية عثر علماء الحفريات على بقايا حفرية (أحيانًا لا تتجاوز عظمة أصبع أو بضعة أسنان) تنتمي ربما إلى ثلاثين نوعًا أو نحو ذلك من أشباه البشر. وأقول ربما لأن تحديد ماهية النوع المنفصل تعتمد على عالِم الحفريات الذي تتحدّث معه. فالبعض منهم يميل إلى التفصيل الشديد؛ إذ يرى أن ثمة وجودًا لأنواع عديدة مختلفة من أشباه البشر. والبعض الآخر يميل إلى الإجمال، إذ يرى أن ثمة عددًا أقل من الأنواع، بينما يوجد كثير من الأشكال الفرعية داخل كل نوع. واليوم، نحن النوع الوحيد الباقي

على قيد الحياة من أشباه البشر. هذا أمر غير معتاد، لأنه حتى وقت قريب يعود إلى عشرين أو ثلاثين ألف عام مضت، كانت أنواع عديدة مختلفة من أشباه البشر تجوب سهول السافانا في أفريقيا وأوراسيا في الوقت عينه. وإنَّ الاختفاء المفاجئ لأنواع أشباه البشر الأخرى بينما استحوذ البشر على المزيد والمزيد من الأراضي والموارد ليُعَدُّ علامةً على ما نشكّله نحن البشر من خطر.

خلال الأعوام الخمسين الماضية، حصل علماء الحفريات على كثير من الأدوات والحيل التي مكنتهم من ملء كثير من تفاصيل تاريخ أشباه البشر. توفّر الأسنان المتحجّرة معلومات قيّمة للغاية، وهذا أمر طيّب، لأنه في كثير من الأحوال تكون الأسنان هي البقايا الوحيدة التي نعثر عليها. وتمامًا مثلما يستطيع طبيب أسنانك أن يعرف ما إذا كنت تتناول الفشار والشوكولاتة والمثلّجات، يستطيع كذلك عالِم الحفريات الذي يدرس الأسنان أن يعرف ما إذا كان أسلافنا يتناولون اللحوم أو النباتات. وشكل السن من الممكن أن يخبرنا بما إذا كان قد استُخدم في قطع أو طحن الطعام لمالكه، وهذه معلومات قيّمة للغاية. فالجوز يتطلّب أسنانًا طاحنة، كالضروس، بينما يتطلّب اللحم أسنانًا قاطعة، كالأنياب.

يمكن للإشارات الكيميائية الموجودة في العظام والأسنان أن تخبرنا هي الأخرى بالكثير عن النظم الغذائية وأنماط الحياة. على سبيل المثال، الكائنات التي تقوم بالتمثيل الضوئي رباعي الكربون، كالعشب والبردي، تمتص نظير الكربون الأثقل قليلًا، الكربون ١٣، مقارنة بالكربون ١٢ الأكثر شيوعًا. وتبيّن تحليلات أسنان الأوسترالوبيثيكوس الأفريقي التي تعود إلى ٢,٥ مليون عام مضت وجود معدلات أعلى من المتوقّع من الكربون ١٣، وبما أن هذه القردة العليا من المؤكّد أنها لم تكن تأكل العشب (لا يأكل أي من القردة العشب)، فهذا يشير إلى أنها كانت تأكل حيوانات كانت تأكل العشب. ويشير تناول اللحم إلى أنها كانت صائدة أو قَمَّامة، وربما كانت تستخدم الأدوات الحجرية.

ومن الممكن للتحليل الكيميائي لنظائر السترونشيوم في العظام أن يخبرنا بمدى اتساع مجال تجوّل أفراد النوع. وقد بيّنت الدراسات التي أجريت على عظام مجموعة من أشباه البشر المبكرة المعروفة بالأسترالوبيثسينات أن الإناث كانت تتحرّك أكثر من الذكور، وهو ما يشير إلى أن الإناث كانت تنضمّ إلى مجموعات الذكور وليس العكس. بعبارة أخرى، كانت مجتمعاتها أبوية، مثل مجتمعات الشمبانزي المعاصر، وهذا يخبرنا بالكثير عن عالمها الاجتماعي. هذه أدوات

تقصّي قوية، لكنها بكل أسف كثيرًا ما تقدّم من الأسئلة أكثر مما تقدّم إجابات، وهذا يذكّرنا بمدى التعقيد الذي تتّسم به قصّة التطوّر البشري.

إن السجل الحفري لأشباه البشر أغنى بكثير مما كان عليه في الماضي. ففي العام ١٩٠٠ كان لدى الأنثروبولوجيين بقايا حفرية لنوعين قديمين فقط من البشر: النياندرتال، التي عُثر على أول حفرياته في ألمانيا العام ١٨٤٨، والإنسان المنتصب، الذي عُثر على أولى حفرياته في العام ١٨٩٢ في جُزَيْرة جاوه على يد عالِم الحفريات البشرية أوجان دوبوا. لكن في العام ١٩٢٤ اكتشف ريموند دارت، أستاذ التشريح الأسترالي المقيم في جنوب أفريقيا، أولى حفريات أشباه البشر الأفريقية المهمّة. كانت الحفرية عبارة عن جمجمة موجودة ضمن مجموعة من الحفريات الأخرى، وكانت جمجمة طفل من النوع المعروف باسم الأوسترالوبيثيكوس الأفريقي، وهو جزء من مجموعة كبيرة من الأسترالوبيثسينات التي ظهرت للمرة الأولى منذ نحو خمسة ملايين عام. بعد هذا الاكتشاف، بدأت العديد والعديد من حفريات أشباه البشر في الظهور في أفريقيا، ويؤمن العديد من علماء الحفريات البشرية الآن بأن نوعنا تطوّر في مكان ما داخل أفريقيا. ومنذ ثلاثينيات القرن العشرين، بدأ لويس وماري ليكي في العثور على حفريات وأدوات في الوادي المتصدّع في أفريقيا، حيث بدأت الصهارة المندفعة من طبقة الوشاح في شقِّ الصفيحة التكتونية التي تقع عليها أفريقيا، وفي النهاية، سيظهر بحر هنا. في الوقت عينه، تعطي الشقوق في الصفيحة التكتونية الأفريقية لصائدي الحفريات لمحات عن الماضي البعيد لنوعنا.

في العام ١٩٧٤، في إثيوبيا، اكتشف دونالد جوهانسون ٤٠ بالمائة من هيكل عظمي لنوع آخر من الأسترالوبيثسينات، والمعروف باسم أوسترالوبيثيكوس أفارينيسيس. سُمي الهيكل العظمي لوسي وحُدّد تاريخه بنحو ٣,٢ مليون عام مضت. كما عُثر على بقايا أسترالوبيثسينات أخرى تعود إلى نحو ٤ ملايين عام مضت. ومنذ ذلك الوقت، عُثر على بقايا لأشباه البشر المبكرين في أجزاء أخرى من أفريقيا، تعود إلى أربعة أو خمسة ملايين عام مضت (أرديبيتيكوس)، بل وستة ملايين عام مضت (أورورين توجنسيس)، أو ربما سبعة ملايين (إنسان الساحل التشادي)، وهذا قريب للغاية من التاريخ الافتراضي الخاص بآخر سلف مشترك لكل أشباه البشر.

لدينا عدد قليل للغاية من حفريات أشباه البشر المبكرين إلى درجة أن من شأن اكتشاف واحد جديد أن يغيّر القصة بصورة جذرية. بل إنه ليس من المؤكّد ما إذا كانت أقدم الحفريات تعود إلى أشباه بشر بالفعل، وليس من الواضح دائمًا ما إذا كانت البقايا الحفرية تنتمي إلى أنواع منفصلة أم لا. هل ينبغي وضع الإنسان الماهر والإنسان المنتصب، وهما نوعان لهما حجمي دماغ مختلفين للغاية، في جنسين منفصلين، أم هل ينبغي اعتبار الإنسان الماهر بمنزلة أحد الأسترالوبيثسينات المتأخّرة؟ يظل فهمنا لتاريخ أشباه البشر المبكرين غائمًا، غير أن ثمة أجزاءً من القصّة صارت أوضح.

حتى أوائل أنواع أشباه البشر يبدو أنها قد سارت على قدمين، على الأقل لبعض الوقت. هذا مختلف تمامًا عن الشمبانزي والغوريلا، التي تسير على القدمين وعلى براجم اليدين. ويمكنك أن تعرف من العظام ما إذا كان النوع يسير بانتظام على قدمين أم لا. ففي الأنواع التي تسير على قدمين، لم يعد إبهام القدم يُستخدَم في الإمساك بالأشياء، وبذا فإنه يحاذي بقية أصابع القدم، بينما يدخل العمود الفقري إلى الجمجمة من الأسفل، وليس من الخلف (اجثم على يديك وقدميك وستفهم لماذا). ولقد تطلّب السير على قدمين ترتيبات للظهر والوركين، بل وقحف الدماغ.

كان السير على قدمين يعني أن منطقة الحوض صارت أضيق، وهو ما جعل عملية الحمل أصعب وأخطر، وربما كان يعني أن العديد من أشباه البشر ولدوا صغارًا لم يكونوا قادرين على البقاء وحدهم، كما هو الحال لدى البشر. كان هذا يعني أن صغارهم احتاجوا إلى رعاية الآباء، وهو ما شجّع على الخُلطة الاجتماعية وجعل آباء أشباه البشر أكثر انخراطًا في عملية تربية الأبناء. هناك العديد من الآثار غير المباشرة للسير على قدمين، غير أننا لسنا واثقين تمامًا لماذا صار أشباه البشر يمشون على قدمين. ربما أتاح هذا لأسلافنا السير أو العدو لمسافات أكبر في أراضي السافانا العشبية التي انتشرت حول العالم الآخذ في البرودة في الثلاثين مليون عام الماضية. كما أنه حرّر أيدي البشر بحيث صارت تتخصّص في مهمات تتطلّب البراعة، وهو ما أدّى في النهاية إلى صنع الأدوات.

لا توجد أدلة على أن أشباه البشر الأوائل كانوا يتمتّعون بأدمغة استثنائية وفق معايير الرئيسيات. فقد احتوت جماجمهم على أدمغة أصغر كثيرًا من أدمغتنا وأقرب إلى أدمغة الشمبانزي، بحجم يتراوح بين ٣٠٠ و٤٥٠ سنتيمترًا مكعبًا. أما أدمغتنا، على سبيل المقارنة، فحجمها في المتوسط ١٣٥٠ سنتيمترًا مكعبًا. إن

الأمر الأكثر أهمية من الحجم المطلق، لكنه أصعب في الحساب، هو المدى الذي انحرف به حجم الدماغ عن حجم الدماغ المتوقّع نسبةً إلى وزن الجسم داخل مجموعة معينة من الكائنات. ويطلق على هذا اسم معامل التدمُّغ. يبلغ معامل التدمُّغ للشمبانزي ٢ (مقارنة بالثدييات الأخرى)، بينما يمتلك الإنسان الحديث عامل تدمُّغ شديد الارتفاع مقداره ٥,٨. وقد تراوح معامل التدمُّغ لدى الأسترالوبيثسينات بين ٢,٤ و٣,١ . لم يكن حجم الدماغ الكبير هو السمة المميِّزة الأولى لأشباه البشر، بل كان السير على قدمين.

تنتمي أولى الحفريات المصنَّفة حاليًّا داخل جنسنا، جنس الهومو، إلى نوع يعرف باسم الإنسان الماهر، الذي عاش في أفريقيا في الفترة بين ١,٥ و٢,٥ مليون عام مضت. وقد عُثر على أولى الأدلة على هذا النوع، وتتكوّن من عظام فك وبعض عظام الأيدي، في العام ١٩٦٠ على يد ماري ليكي وابنها جوناثان في ممر أولدوفاي في الوادي المتصدّع الأفريقي. وقد أقنعت الأدوات الحجرية المصاحبة للحفريات أفراد عائلة ليكي بتصنيف النوع الجديد على أنه أحد أشكال جنس الهومو، وهي طريقة علماء الحفريات في قول: «أعتقد بأنهم من البشر لأنهم صنعوا أدوات».

لكن، هل كانوا مثلنا؟ هل هذا هو الزمن الذي بدأ فيه التاريخ الإنساني؟ يتشكّك غالبية الباحثين اليوم بشأن وجود جنس هومو متفرّد يضمنا إلى جوار الإنسان الماهر. فعلى أي حال، كانت أدمغة الإنسان الماهر أكبر قليلًا وحسب من أدمغة الأسترالوبيثسينات، بحيث تراوحت بين ٥٠٠ و٧٠٠ سنتيمتر مكعّب، مع معامل تدمُّغ يزيد على ٣ بقليل. كما أن أدواتهم الحجرية لم تتضمّن ما هو أكثر من سحق الصخور واستخدام الشظايا. وبالوضع في الاعتبار أن بعض الأسترالوبيثسينات صنعت بالفعل أدواتٍ حجرية وأن الشمبانزي أيضًا يمكنه صنع الأدوات (لكن ليس الأدوات الحجرية)، يبدو أن نوع الإنسان الماهر كان أقرب شبهًا بالأسترالوبيثسينات بحيث يُصَنَّف معها. فاستخدام الأدوات لا يجعل هذا النوع بشرًا، لأننا نعلم الآن أن صنع الأدوات ليس شيئًا يتفرّد به البشر.

تاريخ أشباه البشر المتأخِّر: المليونا عام الماضيان

بحلول مليوني عام مضتا، في بداية العصر الحديث الأقرب، نجد أنواعًا من أشباه البشر كانت كبيرة الحجم، ولها أدمغة أكبر، وصنعت أدوات حجرية أرقى،

واستكشفت نطاقًا أوسع من البيئات. وربما ليس من قبيل المصادفة أنها ظهرت حين صارت المناخات أبرد وأكثر جفافًا. تُصنَّف هذه الأنواع في المعتاد إما على أنها تنتمي إلى نوع الإنسان المنتصب أو الإنسان العامل، لكنني سأستخدم هنا تسمية الإنسان المنتصب لكي تنطبق على المجموعة كلها.

إن الأدمغة الكبيرة للإنسان المنتصب لافتة للانتباه لأنه، كما رأينا، تعد الأدمغة ماكينات تطوّرية مكلفة. وفي الواقع، كان معدل زيادة حجم الدماغ إلى وزن الجسم في أشباه البشر أسرع من معدلاته في أي مجموعة أخرى من الكائنات على مدار التاريخ التطوّري. ربما كانت الخُلطة الاجتماعية هي المحرّك؛ إذ تتجلّى أهمية الحسابات الاجتماعية بوضوح في بنية الدماغ البشري، الذي يكرّس عددًا استثنائيًّا من مسارات الخلايا العصبية للحسابات الاجتماعية. ربما كان وجود خلايا عصبية أكثر يعني وجود المزيد من الأصدقاء، والمزيد من الغذاء، والصّحة الأفضل، وفرص التكاثر الأفضل. وبالتأكيد مكّنت الأدمغة الكبيرة أشباه البشر من العيش في مجموعات وشبكات أكبر. كانت غالبية الرئيسيات، بما في ذلك الشمبانزي والبابون، تعيش في مجموعات يقلّ عدد أفرادها عن خمسين فردًا، وكلّما كان حجم الدماغ أصغر كان حجم المجموعة أصغر. لكن مع زيادة حجم الدماغ في المليوني عام الماضيين، زاد معه حجم مجموعات أشباه البشر. وعلى الأرجح كان الإنسان المنتصب أول نوع من أشباه البشر يعيش في مجموعات تضم أكثر من خمسين فردًا.

عُثر على أولى حفريات الإنسان المنتصب في جاوه في العام ١٨٩١ على يد أوجان دوبوا، الذي كان يبحث في إندونيسيا لأن حدسه كان ينبئه بأن البشر لم ينحدروا من الشمبانزي الأفريقي (بحسب ما رأى داروين)، وإنما من إنسان الغاب الآسيوي. كان حدسه خاطئًا، غير أن البقايا التي عثر عليها كانت تمتلك أدمغة يصل حجمها إلى ٩٠٠ سنتيمتر مكعب، وهو قريب من حجم دماغ الإنسان الحديث البالغ ١٣٥٠ سنتيمترًا مكعبًا. كما أن معامل التدمغ الخاص بها كان يبلغ ٣ أو ٤. وقد بينت حقيقة أن البقايا قد عُثر عليها في جاوه، كذلك أن الإنسان المنتصب كان يمتلك التقنيات والمهارات المطلوبة للهجرة من أفريقيا عبر السواد الأعظم من جنوب أوراسيا. لكن لا ينبغي لهذا أن يثير انبهارنا بدرجة كبيرة؛ فالعديد من الأنواع، كالأسود والنمور والأفيال بل وحتى الأنواع القريبة منا كإنسان الغاب، قامت بهجرات مشابهة، وهذا يرجع إلى أن العديد من البيئات في جنوب أوراسيا

ليست مختلفة كثيرًا عن البيئات الأفريقية. وفي الواقع، تشير الأدلة الحديثة إلى أن أنواعًا قريبة للغاية من نوع الإنسان الماهر ربما قطعت مسافات كبيرة حتى إندونيسيا بحيث صارت أسلاف نوع أشباه البشر الضئيل الحجم المعروف باسم إنسان فلوريس (أو الهوبيت)، الذي كان يعيش في جُزَيْرة فلوريس حتى ستين ألف عام مضت وحسب.

كان الإنسان المنتصب أطول من الإنسان الماهر، وبعض أفراده كانوا يناهزون في الطول الإنسان الحديث. كما أنهم صنعوا أدوات أكثر تقدّمًا من أدوات الإنسان الماهر. هذه هي الأدوات الحجرية الجميلة ذات التصميم الحريص المسماة الفؤوس الأشولينية. ربما وفّرت الأدوات الحجرية الأفضل للإنسان المنتصب فرصة للحصول على المزيد من اللحم، وهو مصدر ضروري من الغذاء عالي الطاقة الذي تعتمد عليه أدمغتهم المتزايدة الحجم. وربما تعلّم أفراد هذا النوع أيضًا كيفية إشعال النيران والسيطرة عليها واستخدامها، وهو ما منحهم فرصة استغلال مصدر جديد هائل من الطاقة. وقد ذهب عالِم الرئيسيات ريتشارد رانجهام إلى أن الإنسان المنتصب قد استخدم النيران في طهو اللحوم والأطعمة الأخرى (بعبارة أخرى، كي يهضمها مُسبقًا ويزيل السموم منها). ومن شأن هذا أن يزيد نطاق الأطعمة التي يستطيع تناولها، لأن العديد من الأطعمة كانت غير قابلة للهضم أو سامة إلى أن تُطهى. كما قلّل الطهو أيضًا من الوقت المنقضي في عمليتي مضغ الطعام وهضمه.

ربما كان لاستخدام النيران تبعات أخرى كذلك. فعلى سبيل المثال، قلّل الطهو من مجهود الهضم المطلوب من الأمعاء، ومن ثم انكمش حجم الأمعاء (نعم، توجد أدلة حفرية تؤيّد هذا)، وهو ما حرّر بعضًا من الطاقة الأيضية المطلوبة لتشغيل الأدمغة الأكبر حجمًا. لا تزال هذه الفرضية المثيرة للاهتمام غير مُثبتة حتى وقتنا الحالي، لأن الأدلّة القوية على التحكّم المنهجي في النيران تظهر للمرة الأولى منذ ثمانمائة ألف عام مضت وحسب، ولم يصبح ذلك التحكّم شائعًا إلا منذ نحو أربعمائة ألف عام مضت. كما أننا نعرف أن التقنيات الحجرية التي استخدمها الإنسان المنتصب لم تتغيّر كثيرًا على مدار مليون عام، لذا يبدو أن الإنسان المنتصب كان يفتقر إلى الموهبة التكنولوجية والبراعة اللتين يتّسم بهما نوعنا.

خلال المليون عام الماضية، تسارع تطوّر أشباه البشر. ومنذ نحو ستمائة ألف عام مضت، ظهر نوع جديد في السجل الحفري، ذو أدمغة وأجساد أقرب شبهًا

بالإنسان الحديث. ومما لا يثير الدهشة أن أفراد هذا النوع كانوا يعيشون بالمثل في جماعات كبيرة أيضًا، جماعات ضمت نحو ١٥٠ فردًا، وهو ما بدا أنه الحد الأقصى لأسلافنا من أشباه البشر.

ثمّة جدالات معقّدة حول عدد أنواع أشباه البشر المختلفة التي كانت موجودة منذ نصف مليون عام مضت. ونحن نعلم أنها كانت كثيرة العدد. لكن الأهم من ذلك هو الاتجاه الأكبر: إذ ظهر أشباه البشر في أوروبا وشمال آسيا في العصور الجليدية، وهي بيئات مختلفة اختلافًا كبيرًا عن السافانا الأفريقية وتطلّبت مهارات وتقنيات جديدة. لذا ليس من قبيل المفاجأة أن اتسمت أدوات هذه الأنواع بقدر أكبر من التعقيد والتنوع والتخصص مقارنة بأدوات الإنسان المنتصب. وللمرة الأولى، قام أشباه البشر بربط الرؤوس الحجرية بقصبات خشبية. وقد عثر علماء الآثار في شونينجن بألمانيا على رماح خشبية عمرها أربعمائة ألف عام مصنوعة بدقة وإحكام، بل ورصد بعض الأنثروبولوجيين أدلة على وجود نشاط فنّي وطقسي، ومن بين الأشياء التي عثر عليها أوجان دوبوا كانت توجد أصداف لبلح البحر، تعود إلى خمسمائة ألف عام مضت، بدت شبيهة للغاية بشكل بسيط من أشكال الفن.

ومع ذلك... لم يكن أي من هذا بالأمر الثوري. وقد بدأ التغيير المذهل بحق منذ نحو مائتين أو ثلاثمائة ألف عام مضت، بعد ظهور نوعنا، نوع الإنسان العاقل.

ما الذي يجعلنا مختلفِين؟ اجتياز المحطّة السادسة

تخيّل أن هناك فريقًا من العلماء الفضائيين يدور حول كوكبنا ويبحث عن حياة ذكيّة ويدرس أشكال الحياة على الأرض في مشروع بحثي طولي يستمر لعدة ملايين من الأعوام. منذ مائتي ألف عام مضت، لم يلحظ هذا الفريق أي شيء غير عادي بشأن أسلافنا. فربما رصدوا في أفريقيا وأجزاء من أوروبا وآسيا عددًا من أنواع الرئيسيات التي تمشي على قدمين، منها النوعان اللذان نسميهما إنسان نياندرتال وإنسان هايدلبيرج. وربما شاهدوا أفرادًا من شأن عالِم الحفريات المعاصر أن يصفها بأنها تنتمي إلى نوع الإنسان العاقل، لأن أقدم جمجمة منسوبة إلى نوعنا يبلغ عمرها نحو مائتي ألف عام، وقد عُثر عليها في وادي أومو في إثيوبيا في الوادي الأفريقي المتصدّع. (في يونيو العام ٢٠١٧ جرى تحديد عمر بقايا بشرية عُثر عليها في المغرب ووُجد أنها تبلغ من العمر ثلاثمائة ألف عام، غير أن علاقتها المحدّدة بنا لا تزال مبهمة). لكن لم يكن ثمة شيء ملحوظ يميّز

هؤلاء البشر المبكرين عن الكثير من أنواع الثدييات كبيرة أو متوسطة الحجم. فقد كان هؤلاء البشر المبكرون يعيشون في مجتمعات رحّالة صغيرة متناثرة، ولا يتجاوز إجمالي عددهم بضع مئات الآلاف من الأفراد. وشأن كل الحيوانات الكبيرة، فقد كانوا يجمعون أو يصيدون الطعام والطاقة التي يحتاجونها من البيئة المحيطة بهم.

واليوم، بعد مائتين أو ثلاثمائة ألف عام (وهي غمضة عين بالنسبة إلى علماء الحفريات)، سيكون الفضائيون الذين يدورون حول الأرض ويبحثون عن حياة ذكية قد رأوا ما يكفي من التغييرات في سلوك هذا النوع تحديدًا بما يستدعي بعض الاحتفاء بين علمائهم. فسيرون البشر وهم ينتشرون في كل أرجاء الأرض. وبعد ذلك، وبداية من العصر الجليدي الأخير، منذ عشرة آلاف عام، سيلاحظون أن أعداد البشر تتزايد بسرعة. سيرون أيضًا البشر وهم يغيّرون بيئتهم كي تلائمهم بصورة أفضل عن طريق حرق الغابات وتحويل الأنهار وحراثة الأرض، وبناء البلدات والمدن. وخلال المائتي عام الأخيرة، زادت أعداد البشر إلى أكثر من سبعة مليارات، وبدأ نوعنا في تغيير المحيطات واليابسة والهواء. فقد شقت الطرق والقنوات وخطوط السكك الحديدية التي صنعها البشر طريقها عبر القارات، وربطت آلاف المدن التي شيّدها البشر ويسكنها الملايين. كما قطعت سفن عملاقة المحيطات ونقلت الطائرات السلع والأشخاص خلال الهواء وعبر القارات. ومنذ مائة عام وحسب بدأت الأرض تضيء ليلًا في خيوط ورقع لامعة. وستبيّن أدوات العلماء الفضائيين أن المحيطات صارت أكثر حمضية، وأن الغلاف الجوّي آخذ في الاحترار، وأن الشعاب المرجانية تحتضر، وأن الغطاء الجليدي القطبي آخذ في الانحسار. إن التنوع الحيوي ينخفض بسرعة إلى درجة أن بعض البيولوجيين الفضائيين تساءلوا عما إذا كان هذا بداية حدث انقراض جماعي آخر.

من منظور علم الحفريات، التغييرات التي تجري بهذه الوتيرة تكافئ الانفجار. فمن دون أن نخطّط لذلك، صرنا نحن البشر قادرين على تغيير وجه الكوكب. بل إنّنا، لو كنا حمقى بما يكفي، نمتلك القوة الكافية لتدمير جزء كبير من الغلاف الحيوي في ساعات قلائل إذا أطلقنا بعضًا من الألف وثمانمائة رأس نووي التي تظلّ على أهبة الاستعداد في وقتنا الحالي. لم يسبق لنوع واحد أن امتلك هذه القدرة على مدار أربعة مليارات عام من تاريخ الغلاف الحيوي.

من الواضح أننا اجتزنا محطة جديدة. ومن المؤكّد أن العلماء الفضائيين سيسألون أنفسهم: ما الأمر المميز بشأن هذا النوع العجيب؟

لطالما عكف المؤرخون والأنثروبولوجيون والفلاسفة والباحثون في مختلف المجالات على محاولة الإجابة عن هذا السؤال. ويشعر البعض بأن هذا السؤال على درجة من التعقيد والتشعب وتعدد الأبعاد بحيث يستحيل تقديم إجابة علمية عليه. لكن من المثير للاهتمام أنه عند النظر إلى التاريخ الإنساني بوصفه جزءًا من التاريخ الكبير للغلاف الحيوي والكون، فإن السّمات المميِّزة لنوعنا تبرز بصورة أوضح. واليوم، يبدو أن الباحثين في كثير من المجالات المختلفة متّفقون على إجابات متشابهة حول السؤال المتعلّق بما يجعلنا مختلفين.

عندما ترى تغيّرات سريعة فجائية مثل هذه، فلتبدأ بالبحث عن التغيّرات الطفيفة التي لها تبعات هائلة. إن نظرية التعقيد ونظرية الفوضى ذات الصلة بها تمتلئان بتغييرات من هذا النوع، وكثيرًا ما توصَف هذه التغييرات بمصطلح تأثير الفراشة، وهذه الاستعارة مصدرها عالِم الأرصاد إدوارد لورنز الذي أوضح أنه في المنظومات الجوية، من الممكن لتغيرات طفيفة (مثل حركة جناحي فراشة) أن تتعاظم نتيجة دورات تغذية راجعة موجبة، بحيث تولّد تيارًا من التغييرات التي قد تسبّب حدوث إعصار على مسافة آلاف الأميال. فما هي إذًا التغييرات الطفيفة التي أطلقت إعصار التاريخ الإنساني؟

الكثير من السمات المختلفة تؤلّف الشخصية البشرية، من الأيدي البارعة إلى الأدمغة الكبيرة إلى الخُلطة الاجتماعية. غير أن ما يجعلنا مختلفين بصورة جذرية هو سيطرتنا الجماعية على المعلومات المتعلّقة بالبيئة المحيطة بنا. فنحن لا نكتفي بجمع المعلومات، شأن الأنواع الأخرى. بل يبدو أننا نرعاها وندجّنها، على النحو ذاته الذي يرعى به المزارعون محاصيلهم. فنحن نولد ونتشارك في المزيد والمزيد من المعلومات ونستخدمها من أجل استغلال تدفّقات أكبر وأكبر من الطاقة والموارد. إن المعلومات الجديدة منحت البشر رماحًا وأقواسًا وسهامًا أفضل، ومكّنتهم من اصطياد حيوانات أكبر بصورة أأمن. كما أنها منحت البشر قوارب أفضل نقلتهم إلى مصائد الأسماك وإلى أراضٍ جديدة، وقدّمت لهم معارف زراعية جديدة مكّنتهم من تحرير النباتات القابلة للأكل من السموم، كالكاسافا. وفي الأزمنة الحديثة، تكمن المعلومات خلف التكنولوجيات التي تمكّننا من استغلال طاقة الوقود الحفري وبناء الشبكات الكهربائية التي تربطنا داخل نظام عالمي واحد.

إن إدارة المعلومات على هذا النطاق لم تكن انجازًا فرديًّا. بل إنها اعتمدت على التشارك، وعلى مراكمة ملايين الرؤى الفردية عبر أجيال عديدة. وفي النهاية، أوجد هذا التشارك، في مجتمع تلو الآخر، ما سمّاه الجيولوجي الروسي فلاديمير فرنادسكي «مجال نو»، أي نطاق عالمي وحيد من العقل والثقافة والأفكار والخواطر المشتركة. وقد كتب مايكل توماسيلو يقول: «هناك آلية بيولوجية واحدة معروفة يمكنها إحداث هذه النوعية من التغييرات في السلوك والإدراك في مثل هذا الوقت القصير... وهذه الآلية البيولوجية هي النقل الاجتماعي أو الثقافي، الذي يعمل على نطاقات زمنية أسرع أضعافًا مضاعفة من تلك الخاصّة بالتطوّر العضوي». وهذه العملية، التي يسمّيها توماسيلو «التطوّر الثقافي التراكمي»، يتفرّد بها نوعنا.

كان التغيّر الطفيف الذي مكّن البشر من مشاركة ومراكمة هذا الكمّ الكبير من المعلومات تغيرًا لغويًّا. إن العديد من الأنواع تمتلك لغات، فبإمكان الطيور وقردة البابون تحذير أفراد نوعها من اقتراب المفترسات. غير أن لغات الحيوانات لا يمكنها إلا مشاركة أبسط الأفكار، وكلّها تقريبًا متّصلة بما هو موجود في نفس اللحظة، وكأنها حركة إيمائية (تخيّل أنك تحاول تدريس الكيمياء الحيوية أو طريقة صنع النبيذ باستخدام الحركات الإيمائية). حاول عدة باحثين تعليم الشمبانزي الحديث، ويستطيع الشمبانزي بالفعل اكتساب واستخدام عدد من المفردات يصل إلى مائة أو مائتي كلمة، بل ويستطيع ربط أزواج من الكلمات في أنماط جديدة. غير أن مفرداتها محدودة ولا تستخدم بناء الجملة أو النحو، تلك القواعد التي تمكّننا من توليد مجموعة هائلة من المعاني من عدد صغير من الرموز اللفظية. ويبدو أن قدراتها اللغوية لا تتجاوز مطلقًا قدرات بشري يبلغ من العمر عامين أو ثلاثة أعوام، وليس هذا كافيًا لخلق عالم اليوم.

وإليك الموضع الذي خفقت فيه الفراشة بجناحيها. فلقد عبرت اللغات البشرية عتبة لغوية دقيقة أتاحت وجود أنواع جديدة بالكامل من التواصل. وفوق كل شيء، تمكننا اللغات البشرية من التشارك في المعلومات عن كيانات مجرّدة أو أشياء واحتمالات ليست حاضرة بشكل مباشر بل وربما توجد خارج نطاق خيالنا، وهي تمكّننا من عمل هذا بسرعة وكفاءة. وباستثناء نحلات العسل، التي تستطيع رقصاتها أن تخبر النحلات الأخرى بالأماكن الموجود فيها العسل، لا علم لنا بأي حيوان آخر يستطيع إرسال معلومات دقيقة بشأن أشياء ليست موجودة أمامه

مباشرة. فلا توجد حيوانات تستطيع تبادل القصص عن المستقبل أو الماضي، أو تحذّر بعضها من قطيع الأسود الموجود على مسافة عشرة أميال إلى الشمال، أو تتحدّث عن الآلهة أو الشياطين. فربما تكون قادرة على التفكير في هذه الأمور، لكنها عاجزة عن التحدّث عنها. وربما يكون هذا هو سبب صعوبة العثور على أي أدلّة على التعلم في أي نوع آخر، حتى لدى أقرب أقربائنا، السعادين والقردة.

هذه التحسينات اللغوية مكّنت البشر من التشارك في المعلومات بدقة ووضوح بحيث بدأت المعارف في التراكم من جيل إلى آخر. فلغات الحيوانات محدودة وقاصرة للغاية بحيث لا تتيح مثل هذا التراكم. وإذا امتلك أي نوع سابق هذه القدرة، لكان من المؤكّد أن يترك آثارًا لها، بما في ذلك نطاق متّسع وتأثير متزايد على بيئته. وفي الحقيقة، كنا سنرى نوعية الأدلة التي نراها في ما يخص التاريخ الإنساني. فاللغة البشرية قويّة بما يكفي كي تعمل عمل المزلاج الثقافي، بحيث تحتفظ بأفكار أحد الأجيال وتحفظها للجيل التالي، الذي قد يضيف إليها بدوره. أطلق على هذا اسم التعلّم الجمعي. والتعلّم الجمعي محرّك جديد للتغيير، ويمكن أن يقود التغيير بنفس قوة الانتخاب الطبيعي. لكن نظرًا لأنه يتيح التبادل الفوري للمعلومات، فهو يعمل على نحو أسرع بكثير.

إن كيفية وسبب اكتساب نوعنا للقدرة اللغوية المطلوبة لإطلاق ذلك المحرّك الجديد القوي للتغيير لا تزال غير واضحة. فهل كانت، بحسب ما ذهب عالِم الأنثروبولوجيا العصبية تيرانس ديكون، قدرةً جديدة على ضغط كمية كبيرة من المعلومات في رموز (كلمات بسيطة بشكل مخادع مثل كلمة «رمز» التي تحمل حمولة معلوماتية ضخمة)؟ أم هل كان تطوّر دوائر نحوية جديدة في الدماغ البشري هو ما ساعدنا في دمج الكلمات وفقًا لقواعد محدّدة بحيث نوصل تنويعة عظيمة من المعاني المختلفة، كما اقترح عالِم اللغويات نعوم تشومسكي؟ إنها فكرة مغرية لأن الحيلة الصعبة بحقّ، بحسب رأي عالم لغويات آخر هو ستيفن بينكر، كانت «تصميم شفرة تتيح تحويل كتلة متشابكة من المفاهيم إلى سلسلة خطية من الكلمات»، وأن يتم فعل هذا بكفاءة تامّة بحيث يستطيع المستمع سريعًا أن يعيد بناء كتلة المفاهيم المتشابكة من السلسلة الخطية. هل صارت اللغة البشرية ممكنة نتيجة اتساع مساحة التفكير المتزايدة التي وفّرتها القشرة الضخمة، التي تستطيع حمل أفكار معقّدة كافية من أجل تشكيل عبارات معقّدة بنائيًّا أو السماح للفرد بتذكّر معاني آلاف الكلمات. أم هل الأشكال المحسَّنة من اللغة تضرب بجذورها في

الخُلطة الاجتماعية والاستعداد للتعاون، وهما سمتان متطورتان بما يكفي في نوعنا؟ أم هل كان ثمة تضافر بين كل هذه المحركات معًا؟

بصرف النظر عمّا حدث، يبدو أن نوعنا كان أول من يجتاز العتبة اللغوية التي يمكن وراءها للمعلومات أن تتراكم داخل المجتمعات وعبر الأجيال. ومثل منجم الذهب، فقد أطلق التعلّم الجمعي كمية هائلة من المعلومات حول النباتات والحيوانات، والتربة، والنيران والمواد الكيميائية، وحول الأدب والفن والدين، وحول البشر الآخرين. ورغم أن بعض المعلومات ضاعت في كل جيل، فعلى المدى البعيد تراكمت مستودعات المعلومات البشرية، وهذه الثروة المتعاظمة من المعرفة كانت المحرّك الدافع للتاريخ البشري عن طريق تمكين البشر من الوصول إلى تدفّقات متزايدة من الطاقة وقدرة متزايدة على السيطرة على بيئاتهم. وإليك بالكيفية التي وُصفَت بها هذه الآلية على لسان أحد رواد دراسة الذاكرة، العالم إريك كاندل الفائز بجائزة نوبل:

رغم أن حجم وبنية الدماغ البشري لم يتغيرا منذ ظهور الإنسان العاقل للمرة الأولى في شرق أفريقيا... فقد نمت قدرة الأفراد على التعلّم ونمت ذاكرتهم التاريخية على مدار قرون عن طريق التعلّم التشاركي؛ أي عن طريق نقل الثقافة. فالتطور الثقافي، وهو نمط غير بيولوجي من التكيّف، يعمل بالتوازي مع التطور البيولوجي بوصفه وسيلة لنقل معارف الماضي والسلوك التكيفي عبر الأجيال. وكل الإنجازات البشرية، من الأزمنة القديمة إلى العصور الحديثة، ما هي إلا نتاج للذاكرة المشتركة المتراكمة عبر القرون.

وقد بنى المؤرخ العالمي العظيم دبليو إتش ماكنيل كتابه الكلاسيكي عن تاريخ العالم المعنون The Rise of The West حول الأفكار عينها: «إن العامل الرئيسي الذي يعزز التغيير الاجتماعي المؤثّر تاريخيًّا هو الاتصال مع غرباء يمتلكون مهارات جديدة وغير مألوفة».

الحياة في العصر الحجريّ القديم

يبدأ التاريخ الإنساني، إذًا، بالتعلّم الجمعي. لكن متى بدأ التعلّم الجمعي؟

حتى علماؤنا الفضائيين لم يكونوا ليلاحظوا أولى علامات التعلّم الجمعي وهم يدورون حول الأرض منذ مائتي ألف عام. بل وربما كانت بعض أشكال التعلّم الجمعي موجودة في مجتمعات الإنسان المنتصب، غير أن تبعاتها لم تكن ثورية

بعد. تبدأ علامات التغيّر التكنولوجي الأكثر سرعة في الظهور في السجل الأثري الأفريقي منذ ما لا يقل عن ثلاثمائة ألف عام على صورة أدوات حجرية متزايدة الدقة، والكثير منها له مقابض. ولا تظهر هذه القدرة الإبداعية لدى الإنسان العاقل فقط، وإنما لدى النياندرتال وأنواع أشباه البشر المعروفة باسم إنسان هايدلبيرج. وربما كانت كل هذه الأنواع تحصل على صور محسّنة من اللغة جعلتها قريبة من المحطة السادسة. وتتسم الأدلة المبكرة على النشاط الطقسي أو الرمزي أو الفني بأهمية شديدة لأنها تشير إلى وجود القدرة على التفكير الرمزي أو حكي القصص عن كائنات تخيلية، وهذا قد يشير إلى حلول الأشكال الحديثة من اللغة.

ربما كانت هناك مساحة لنوع واحد فقط كي يعبر المحطة السادسة الخاصّة بالتعلّم الجمعي. فهناك آلية تطوّرية تُعرف بالإقصاء التنافسي، وهي تفسّر لماذا يستحيل على نوعين أن يتقاسما الموضع الدقيق ذاته؛ إذ سيقوم أحدهما في نهاية المطاف بإقصاء منافسه لو استطاع استغلال الموضع ذاته بصورة أكثر فعالية بقليل. وهكذا يمكننا أن نتخيّل أن هناك أنواعًا عديدة اجتمعت حول العتبة التطوّرية المتمثّلة في التعلّم الجمعي، لكن حينها نوع واحد فقط هو الذي تقدّم وبدأ في استغلال بيئته بصورة فعالة بحيث تضاعفت أعداده ونمت بصورة سريعة كبحت أعداد منافسيه. وقد يساعد هذا في تفسير لماذا هلك أقرب أقربائنا من أشباه البشر، إنسان نياندرتال، ولماذا يشارف أقرب الأقرباء الباقين على قيد الحياة، الشمبانزي والغوريلا، على الانقراض.

إن الأدلّة على التغيّر التكنولوجي والثقافي الواردة من أكثر من مائة ألف عام ضبابية وصعبة التفسير. فقد بدأ نوعنا في الانتشار في أرجاء أفريقيا منذ ما لا يقل عن مائتي ألف عام، وهو ما قد يشير إلى مزايا التعلّم الجمعي. لكن في عالم من المجتمعات الصغيرة المتناثرة، وأغلبها لا يتجاوز عدده العائلات الممتدّة، كان التغيير بطيئًا ومتذبذبًا ويسهل التراجع عنه. فقد كانت جماعات كاملة تموت فجأة، بما تحمله من تكنولوجيا وقصص وتقاليد راكمتها على مر القرون. وقد وقعت أكبر كارثة من هذا النوع منذ نحو سبعين ألف عام؛ إذ تبيّن الأدلة الوراثية أن عدد البشر قد انخفض فجأة إلى بضع عشرات الآلاف وحسب، أي ما يكفي لملء ستاد رياضي متوسّط الحجم. لقد شارف نوعنا على الانقراض، وربما يكون سبب هذه الكارثة هو انفجار بركاني هائل في جبل توبا في إندونيسيا، أطلق سحُبًا من السخام

في الغلاف الجوي، ومنع عملية التمثيل الضوئي لشهور أو أعوام، وهدد العديد من أنواع الحيوانات الكبيرة الحجم. لكن بعد ذلك بدأت أعداد البشر
في التزايد مجدّدًا، وانتشر البشر على نطاق أوسع، وأخذت ماكينة التعلّم الجمعي تهدر وقد عادت للحياة مرة أخرى.

خلال المائة ألف عام الأخيرة، نحصل على لمحات عن الكيفية التي عاش بها أسلافنا، ونجد أدلّة أوضح على التعلّم الجمعي. ومثل كل الحيوانات الكبيرة، اعتمد أسلافنا على التقاط الطعام أو صيد الطرائد الموجودة في بيئتهم. لكن كان ثمة اختلاف محوريٌّ بين تلك الحيوانات والبشر المبكرين. فبينما كانت الحيوانات الأخرى تصيد أو تلتقط الطعام باستخدام مجموعة من المهارات والمعلومات التي لم تكن تتغيّر بالكاد على مدار أجيال، فقد فعل البشر ذلك بفهم متزايد لبيئاتهم، إذ تشاركوا وراكموا المعلومات عن النباتات والحيوانات والمواسم والأراضي. فقد كان التعلّم الجمعي يعني أن المجتمعات البشرية، على مر الأجيال، كانت تصطاد وتلتقط الطعام بمهارة وكفاءة متزايدتين.

تعطينا بعض المواقع لمحات حميمة عن كيفية عيش أسلافنا. ففي كهف بلومبوس، على شواطئ المحيط الهندي بجنوب أفريقيا، قام عالم الآثار كريستوفر هنشيلود وزملاؤه بالتنقيب في مواقع يتراوح عمرها بين تسعين ألف عام وستين ألف عام مضت. كان قاطنو كهف بلومبوس يأكلون المحار والأسماك والحيوانات البحرية، علاوة على الثدييات الأرضية والزواحف. وكانوا يطهون الطعام في مواقد مُعتنى بها جيدًا . وقد صنعوا نصالًا حجرية دقيقة ورؤوس أسلحة من العظام كانت على الأرجح مُلصقة بمقابض خشب عن طريق غراء معدّ لذلك الغرض خصّيصًا. لكنهم كانوا فنانين كذلك؛ فقد عثر الأثريون على أحجار مغطاة بأكاسيد الرصاص عليها علامات خدوش هندسية الشكل تبدو وكأنها رموز أو حتى كتابة. كما أنهم صنعوا كذلك صبغات مختلفة ملوّنة وخرزات من قشر بيض النعام. من المُغري أن نرى هذا الدليل بوصفه علامة على أن مجتمعات بلومبوس كانت تقدِّر التعلّم الجمعي وحفظ المعلومات ونقلها، وهذا يعني بالتأكيد أنهم كانوا يحفظون القصص التي تلخّص معارف مجتمعهم ويروونها.

من الصعب ألّا نرى أوجه التشابه مع مجتمعات الصيد والجمع الحديثة. وإذا كانت أوجه التشابه هذه غير مضلِّلة لنا، فبوسعنا أن نتخيّل وجود العديد من الجماعات المماثلة لتلك التي سكنت كهف بلومبوس وتمتلك مجموعة متنوعة من

تقنيات الصيد والجمع التي تراكمت عبر أجيال عديدة. ويمكننا أن نتخيّلها وهي تهاجر عبر مناطقها المألوفة، وتربطها معًا روابط عائلية ولغة وتقاليد مشتركة. بالتأكيد كانوا يرقصون ويغنون أيضًا، ويروون قصصًا عن أصولهم، وبالتأكيد كان لديهم ما يمكن أن نطلق عليه اليوم اسم الأديان.

في موقع بحيرة مونجو في استراليا، الأدلة على وجود الدين دامغة. فموقع الحرق والدفن الذي يعود إلى نحو أربعين ألف عام مضت، وكذا تناثر البقايا البشرية كلّها أدلّة على تقاليد طقسية ثرية. وتذكّرنا أدلّة أخرى من الموقع بأن مجتمعات العصر الحجري القديم، مثل مجتمعاتنا البشرية المعاصرة، كانت تمر بفترات من عدم الاستقرار، سبّبتها التغيرات المناخية التي لا يمكن التنبؤ بها على مدار العصر الجليدي الأقرب. كانت هناك فترات دورية من الجفاف منذ اللحظة التي وطأت فيها أقدام البشر منطقة بحيرات ويلاندرا، ربما منذ خمسين ألف عام مضت. ومنذ نحو أربعين ألف عام مضت، زاد الجفاف وبدأت منظومة البحيرات تنكمش.

بعد ذلك بعشرين ألف عام، وفي الحقبة الأبرد في العصر الجليدي، كانت هناك مجتمعات تعيش في بيئات شبيهة بالتندرا في سهول أوكرانيا الحديثة. وفي مواقع مثل ميزيريتش بنى الناس خيامًا كبيرة شبيهة بالسرادقات، مستخدمين جلودًا مفرودة على منصة من عظام الماموث، ودفَّأوا أنفسهم بمواقد داخلية. كانوا يصطادون الماموث وغيره من الحيوانات الضخمة وكانوا يخزّنون اللحم في حُفر مُبرَّدة كي يتناولونه خلال مواسم الشتاء الباردة الطويلة. وكانوا يصطادون الحيوانات ذات الفراء ويستخدمون أدوات شبيهة بالإبر لها رؤوس مزخرفة منحوتة من العظام من أجل حياكة ملابس دافئة. ربما عاش ما يصل إلى ثلاثين شخصًا معًا في ميزيريتش خلال مواسم شتاء العصر الجليدي الطويلة. وهناك مواقع مشابهة بالقرب من ميزيريتش، وهذا يشير إلى وجود اتّصال دوري بين الجماعات المتجاورة، وهي نوعية الشبكة التي كان يجري عبرها تبادل معلومات حول التكنولوجيات الجديدة والمناخات المتغيّرة وحركة الحيوانات وغيرها من الموارد، علاوة على تبادل القصص. كما انتقل البشر أيضًا بين الجماعات المتجاورة.

إن البقايا التي خلّفتها جماعات العصر الحجري القديم تقدّم لنا لمحات ضبابية عن مجتمعاتها. غير أن كل لمحة تمثّل عالمًا ثقافيًّا كاملًا، بقصصه وأساطيره وأبطاله وأشراره ومعارفه العلمية والجغرافية وتقاليده وطقوسه التي حفظت ومرّرت

المهارات القديمة. وهذا التراكم للأفكار والتقاليد والمعلومات كان هو ما مكَّن أسلافنا في العصر الحجري القديم من العثور على الطاقة والموارد التي احتاجوها من أجل البقاء والازدهار والهجرة لمناطق أبعد وأبعد في عالم العصور الجليدية القاسي.

إن الأدلة المأخوذة من العينات اللُّبيَّة الجليدية اليوم تمكّننا من تتبّع التغيّرات في درجة الحرارة العالمية بدقّة كبيرة عبر مئات الآلاف من الأعوام. وخلال العصر الحديث الأقرب (البليستوسين)، الذي يضمّ مليوني عام منذ تطوّر الإنسان المنتصب، كانت هناك عصور جليدية عديدة. كانت هذه العصور تستمرّ في المعتاد لمائة ألف عام أو أكثر، وتتخلّلها فترات دفء بين العصور الجليدية. والفترة التي نعيشها اليوم هي الفترة بين الجليدية الدافئة التي بدأت منذ عشرة آلاف عام مضت، مع بداية عصر الهولوسين. وقد وقعت الفترة بين الجليدية السابقة منذ نحو مائة ألف عام مضت، وربما استمرّت لعشرين ألف عام أو نحو ذلك. وبعد انتهائها، أخذت المناخات العالمية تزداد برودة وجفافًا، وإن تخلّل ذلك فترات معكوسة مؤقتة وتباينات محلّية. وقد امتدت فترة البرد في العصر الجليدي الأخير بين اثنين وعشرين ألف عام وثمانية عشر ألف عام مضت.

بينما صارت المناخات أبرد، كان من الضروري هجر المناطق التي ظلّت مسكونة لمئات أو آلاف الأعوام. فقد شُغلَت مواقع في شمال أوروبا بداية من أربعين ألف عام مضت، ثم هُجرَت لآلاف الأعوام. وحتى في المناخات الأدفأ في أقصى شمال أستراليا، ظلّ البشر على قيد الحياة بالكاد. وقد حفر نهر لون هيل في أقصى شمال غرب كوينزلاند أخاديد عبر طبقات سميكة من الحجر الجيري وأتاح للسكان المحليين معيشة طيّبة عن طريق الأسماك والحيوانات البحرية والمرتفعات المحيطة به. لكن خلال الفترات الأكثر برودة، هجر البشر المرتفعات الجليدية بالكامل وظلّوا في بيئات الأخاديد المحمية.

استيطان الغلاف الحيوي: هجرة البشر حول العالم

مع تراكم المعارف التكنولوجية والإيكولوجية، انتقلت مجتمعات عديدة إلى بيئات جديدة، مدفوعة أو منجذبة بفعل التغيّر المناخي أو الصراع مع الجيران أو ربما الزيادة السكانية. وعبر آلاف الأعوام، نقلت الهجرات محدودة النطاق نوعنا، كيلومترًا تلو الآخر، إلى كلّ قارّة بخلاف أنتاركتيكا. واليوم، يمكننا تتبع هذه

الهجرات ببساطة عن طريق تتبّع انتشار البقايا الأثرية حول العالم وعن طريق مقارنة جينات التجمّعات السكانية الحديثة المختلفة.

منذ مائة ألف عام، وخلال الفترة بين الجليدية الأخيرة، عاش كل البشر تقريبًا في أفريقيا، وإن غادر عدد قليل منهم إلى الشرق الأوسط. وفي مواقع مثل كهوف السخول والقفزة في فلسطين، ربما تقابل هؤلاء مع النياندرتال وتناسلوا معهم أحيانًا. (نعرف هذا لأن معظم البشر الذين يعيشون خارج أفريقيا اليوم يمتلكون بعضًا من جينات النياندرتال.) بعد ذلك، وكلما صار المناخ أكثر برودة، يبدو أن أسلافنا تركوا الشرق الأوسط للنياندرتال، الذين كانت أجسامهم أفضل تكيّفًا مع المناخات الباردة. ولم يعُد البشر إلا منذ نحو ستين ألف عام. ومع ذلك فربما انتقل بعض البشر شرقًا إلى وسط آسيا وجنوبها، ويتمثّل أحد أسباب التفكير في هذا أن البشر وصلوا إلى البرّ الأسترالي المعروف باسم ساهول (القارة التي كانت تضمّ في العصر الجليدي كلًّا من أستراليا وبابوا غينيا الجديدة وتاسمانيا) بين خمسين وستين ألف عام مضت. كان سيتعيّن على المهاجرين الذين تركوا أفريقيا منذ ستين ألف عام أن يتحرّكوا بسرعة شديدة للوصول إلى هناك، لذا يبدو من المرجّح أكثر أن أوائل الأستراليين وصلوا من مجتمعات كانت مستقرّة منذ فترة طويلة في آسيا. مثَّل استيطان أستراليا حدثًا عظيم الأهمية في التاريخ الإنساني. نحن لا نعرف ما الذي دفع المستوطنين الأوائل إلى ذلك؛ ربما كانت الضغوط السكانية أو الصراعات مع المجتمعات الأخرى في الأجزاء الجنوبية لما يعرف الآن باسم إندونيسيا، غير أننا نعرف أن العبور تطلّب مهارات بحرية متقدمة وقدرة على التأقلم سريعًا مع مجموعة جديدة بالكامل من النباتات والحيوانات، فلم يسبق لأي نوع آخر أن اجتاز البحر. (وصلت الكلاب الأسترالية، الدنجو، في الألفيات الأخيرة، وبالتأكيد بمساعدة البشر).

كانت أولى عمليات الهجرة إلى سيبيريا وشمال أوروبا على الأرجح عبارة عن بعثات استكشافية قصيرة الأمد جرت خلال فترات الدفء الوجيزة. غير أن مواقع مثل ميزيريتش تبين أنه بحلول عشرين ألف عام مضت، استطاع أسلافنا التأقلم مع البيئات الشديدة البرودة. وربما استقرّ البعض بصورة دائمة في سيبيريا في زمن مبكر يرجع إلى أربعين ألف عام مضت. وبعدها بعشرين ألف عام، في المرحلة الأكثر برودة من العصر الجليدي الأخير، ارتحل بعض سكان سيبيريا عبر جسر بيرنجيا البري، الذي كان من الممكن عبوره لأن كثيرًا من الماء كان

حبيسًا في الأنهار الجليدية القطبية إلى درجة أن مستويات المحيطات كانت أكثر انخفاضًا من مستوياتها اليوم. ومن بيرنجيا، انتشر البشر إلى الأمريكتين، إما بالذهاب عبر ألاسكا أو بالسفر في مراكب صغيرة على امتداد الساحل الشمالي الغربي لأمريكا الشمالية، ومن هناك، هاجر البعض إلى أمريكا الجنوبية، ووصلوا على الأرجح إلى أقصى الجنوب إلى أرض النار في غضون ألفين أو ثلاثة آلاف عام. وفي الوقت الحالي، تعود أولى الأدلّة المؤكّدة على وجود البشر في أمريكا الشمالية إلى نحو خمسة عشر ألف عام مضت.

في العصر الحجري القديم، كانت الهجرة على الأرجح هي ردّ الفعل الأكثر شيوعًا تجاه الابتكارات أو الضغوط السكانية. فقد كان تيار الهجرة الهزيل يعني أن كل مجتمع بشري كان بمقدوره أن يظلّ بنفس الحجم بينما انتشر نوعنا حول العالم، وذلك يعني أنه كان باستطاعة المجتمعات الحفاظ على قواعدها الاجتماعية التقليدية. لهذا السبب لدينا أدلة قليلة للغاية على مستعمرات العصر الحجري القديم، رغم وجود الكثير من الأدلة على أن العدد الإجمالي للمجتمعات قد تزايد، علاوة على العدد الإجمالي للبشر. وقد ذهب الأنثروبولوجي الإنجليزي روبن دنبار إلى أن العدد ١٥٠ يمثل أكبر حجم ممكن يستطيع الدماغ البشري التأقلم معه، ولذا ربما كان من الطبيعي أن تنقسم المجتمعات بصورة طبيعية إذا زاد عدد أفرادها على ذلك. بل وذهب دنبار إلى أنه حتى في وقتنا الحالي، ينغمس غالبية البشر في شبكات حميمة لا يتجاوز عدد أفرادها ١٥٠ فردًا، حتى إذا كان لهم علاقات عابرة بعدد أكبر من الناس. إن المجتمعات الحديثة هائلة الحجم، غير أن الفضل في هذا يرجع فقط إلى تشييد بنى اجتماعية جديدة تحافظ عليها.

بصرف النظر عن الأسباب، ظلّت غالبية مجتمعات العصر الحجري القديم صغيرة بما يكفي بحيث نظمت نفسها عبر مفاهيم العائلة أو القرابة، على غرار مجتمعات الصيد والجمع الحالية. لهذا السبب من المنطقي التفكير في مجتمعات العصر الحجري القديم بوصفها عائلات أكثر من كونها مجتمعات. وإذا كنا لنهتدي بمجتمعات الصيد والجمع الحديثة، فعلى الأرجح كان لدى مجتمعات العصر الحجري القديم فهمًا واسعًا لمصطلح العائلة كان يمتد إلى ما وراء عالم البشر بحيث يتضمّن أنواعًا أخرى بل وسمات أخرى للمشهد المحيط، على غرار الجبال والأنهار. لقد كانت مجتمعات العصر الحجري القديم منغمسة في بيئاتها المحيطة

على المستوى الإيكولوجي والثقافي بطرق يجد سكان المناطق الحضرية الحديثة صعوبة في فهمها.

زيادة التّعقيد في العصر الحجري القديم

رغم أن مجتمعات العصر الحجري القديم كانت صغيرة الحجم، فقد كانت تتمتّع بنفس النزعة الإنسانية إلى جمع الأفكار والرؤى والمعارف الجديدة، لذا حتى إذا لم نستطع تتبع تواريخها بالتفصيل، فنحن نعلم أنها تمتّعت بنفس الديناميكية الثقافية والتكنولوجية التي تمتّعت بها المجتمعات البشرية اللاحقة، وإن كان ذلك على نطاق أصغر.

وشأن مجتمعات الصيد والجمع الحديثة، كان لدى مجتمعات العصر الحجري القديم بالتأكيد معرفة وثيقة بعادات وأنماط حياة الحيوانات والحشرات التي كانت تصطادها، والنباتات التي كانت تستخدمها في الطعام والكساء والأدوات. وقد كان من شأن الشبكات الفضفاضة التي كان يجري من خلالها تبادل البشر والقصص والطقوس والمعلومات أن تربط المجتمعات عبر مساحات شاسعة. ويمكننا من واقع الأدلّة الأثرية والأنثروبولوجية أن نخلص إلى أن الجماعات العائلية كانت تعيش منفصلة في غالبية الأوقات غير أنها كانت تتجمّع بصورة دورية في حوادث مشابهة للألعاب الأولمبية في مواقع كان يوجد فيها طعام يكفي التجمعات المؤقتة التي كانت تضم مئات الأفراد. ففي منطقة سنوي ريفر في جنوب شرقي أستراليا، مثلًا، كانت مجموعات عديدة تلتقي حين كانت الملايين من عثات بوجونج تفقس، وهو ما يوفر الطعام للحشد المتجمع المعروف اليوم باسم كوروبوريز. وفي هذه التجمعات، كان يجري تبادل القصص والطقوس والهدايا، وكانت علاقات التضامن تتعزّز عن طريق الرقصات والشعائر، وكان الأزواج (أو الأفراد الساخطين) ينتقلون من جماعة إلى جماعة. وفي جنوب فرنسا منذ خمسة عشر ألف عام، كانت هناك تجمّعات مماثلة، بينما كانت المجتمعات البشرية تتتبّع وتصطاد قطعان الخيول والغزلان والماشية وكانت تنخرط في طقوس دورية نتج عنها رسومات صخرية جميلة. إن الرسومات والمنحوتات الموجودة في مواقع مثل كهف لاسكو ومأوى لا مادلين الصخري في منطقة دوردوني، بل وحتى المنحوتات الصخرية الأقدم التي عُثر عليها في أجزاء عديدة من أستراليا، لا تزال تبدو جميلة وراقية

في نظر العين الحديثة شأنها شأن أي عمل فني أنتجه البشر. وهي تساعد في توضيح العالم الفكري والعقلي الثري لأسلافنا في العصر الحجري القديم.

وبينما صارت تقنيّات الصيد والجمع أكثر تقدمًا، شرع أسلافنا في تشكيل بيئاتهم بطرق جديدة. لقد عثر أوائل البشر الذين استوطنوا أستراليا على عدد كبير من الحيوانات الضخمة. كان بعض هذه الحيوانات في حجم الخراتيت والأفيال والزرافات الموجودة في جنوب أفريقيا، وهو الجزء الوحيد من العالم الذي لا تزال فيه أعداد كبيرة من الحيوانات الضخمة على قيد الحياة اليوم. وفي أستراليا، كان يوجد كناغر ووُمبات عملاقة، وطيور ضخمة لا تطير مثل النوع المعروف باسم جينيورنيس نيوتوني. ثم فجأة، اختفت معظم الحيوانات الأسترالية الضخمة، وهو ما حدث في نهاية المطاف كذلك للحيوانات الضخمة في سيبيريا والأمريكتين.

ربما اختفت هذه الحيوانات لأن المناخات تغيّرت. غير أنها عاشت خلال عصور جليدية سابقة، لذا من المنطقي التفكير في أن البشر، بأدوات الصيد متزايدة التعقيد التي يملكونها، ربما دفعوا هذه الأنواع إلى الانقراض. يدعم السجلّ التاريخي هذا التفسير. ففي أستراليا وسيبيريا وأمريكا الشمالية، اختفت الحيوانات الضخمة بعد وصول البشر بقليل. ربما لم تكن الحيوانات الضخمة تخشى أسلافنا بما يكفي، كما حدث لطائر الدودو في موريشيوس، وذلك على العكس من الحيوانات الضخمة الأفريقية، التي تطوّرت بالتزامن مع البشر وكانت تعلم مدى خطورتهم. على أي حال، إن الحيوانات الضخمة، شأن كل الحيوانات كبيرة الحجم (بما في ذلك الديناصورات)، ضعيفة على نحوٍ خاص أمام التغيّرات المفاجئة. وهناك العديد من الأمثلة الحديثة على انقراض الحيوانات الضخمة، مثل اختفاء الطيور الموا النيوزيلندية في غضون بضعة قرون من وصول البشر. وفي سيبيريا والأمريكتين، لدينا أدلة مباشرة على وجود مواقع للقتل، لذا نعرف يقينًا أن البشر كانوا يصطادون الحيوانات الضخمة كالماموث.

غيَّر اختفاء الحيوانات الضخمة المشهد الطبيعي. فالعاشبات الضخمة تستطيع التهام كميات ضخمة من النباتات، وتسبَّب اختفاؤها في زيادة وتيرة نشوب الحرائق، لأن بقايا النباتات باتت تُترَك من دون أن تؤكَل. وفي أستراليا منذ نحو أربعين ألف عام، زاد عدد الحرائق في مناطق عدة، وربما بدأت نسبة كبيرة منها بفعل صواعق البرق. غير أننا نعرف أن في هذا الموضع، وكذلك في أجزاء أخرى من عالم العصر الحجري القديم، كان البشر يستخدمون النيران بصورة

منهجية من أجل تخصيب الأراضي. تعرف هذه التكنولوجيا لعلماء الآثار باسم الزراعة باستخدام الشُّعلات، تيمّنًا بالشعلات التي كان سكان استراليا الأصليون يحملونها من أجل إشعال الحرائق في الأراضي خلال العصور القديمة. ويمثّل الاستخدام المنهجي للنيران، ليس فقط في طهو الطعام أو حمية نفسك وإنما في تغيير البيئة كذلك، واحدًا من أولى علامات القدرة الإيكولوجية المتنامية لنوعنا. وإذا كانت لديك المهارات المطلوبة للتحكّم في النيران بأمان، كان إشعال الحرائق الدورية في الأراضي له مزاياه. فإذا أحرقت منطقة عشبية ثم عدت إليها بعد يوم أو يومين، ستجد العديد من النباتات والحيوانات المشوية الصالحة للأكل. وإذا انتظرت بضعة أسابيع ستجد نموًّا جديدًا، لأن النيران نثرت الرماد المخصِّب وسرَّعت من عملية تحلّل بقايا النباتات والحيوانات. ستنبت الحشائش وغيرها من النباتات، وسيكون من الممكن حصدها بصورة أسرع. كما أن النباتات الجديدة ستجتذب الحيوانات العاشبة والزواحف الصغيرة، وهو ما يجعل الصيد أيسر كم يجعله مُنتجًا أكثر. باختصار، كانت الزراعة باستخدام الشعلات تزيد من إنتاجية الأرض.

استُخدمَت تقنيات مشابهة في أجزاء كثيرة من العالم في أواخر العصر الحجري القديم. ورغم أنها لم تكن تحديدًا نوعًا من الزراعة، فقد كانت سبيلًا إلى زيادة إنتاج النباتات والحيوانات القابلة للاستهلاك في أي
منطقة بعينها من الأرض. أي إنها تعدّ شكلًا من أشكال التكثيف. وتعطينا الزراعة باستخدام الشعلات لمحة عن كنز الطعام والموارد والطاقة الذي حرّرته الزراعة.

الحقبة المبكرة من التاريخ الإنساني

بينما تشارك البشر في المعلومات والأفكار والرؤى، علاوة على النكات والنميمة والقصص، عبر أجيال عديدة وبين مجتمعات متجاورة، تراكم ببطء، في منطقة تلو الأخرى، كيان من المعلومات التي أميل إلى وصفها بأنها علمية. وقد تضمّن العلم في العصر الحجري القديم المعارف المتعلّقة بالموارد القابلة للاستخدام، سواء تم الحصول عليها عن طريق الصيد أو الجمع، وسواء كان الغرض منها هو الأكل أو صنع الملابس أو الشفاء، والمعارف المتعلّقة بالتقنيات، سواء تلك الخاصّة بالملاحة أو الصيد أو الحفر بحثًا عن الخضروات الجذرية، والمعارف المتعلّقة بعلم الفلك، والمعارف المتعلّقة بكيفية الاقتراب من الكبار أو الغرباء والحديث

معهم، وكيفية إحداث نقلات مهمّة في حياة الأفراد. كانت هذه معارف قيّمة لأنها كانت مطلوبة من أجل البقاء على قيد الحياة، لذا كان الحفاظ عليها ونقلها للغير مسألة عظيمة الأهمية. كان يجري ترشيح المعارف من خلال عقول أخرى، واختبارها لمعرفة موثوقيتها ودقّتها ونفعها، وفي النهاية تضمينها في قصص الأصل التي كانت تقع في قلب التعليم. وهذه الزيادة البطيئة في المعلومات المتاحة والسيطرة التي منحتها هذه المعلومات المتراكمة لنوعنا على العالم الطبيعي وعلى تدفّقات الطاقة عبر الغلاف الحيوي كانت هي المحرّك الأساسي للتغيير في التاريخ الإنساني. انتشرت المعرفة بانتشار البشر. ورغم أن المعرفة ظلّت محصورة داخل مجتمعات منفصلة، فبإمكاننا تخيّل الظهور البطيء لمجال جديد من المعارف المشتركة للمرة الأولى في تاريخ الكوكب، مجال نو.

خلال العصر الحجري القديم، امتد مجال نو عبر أفريقيا وأوراسيا وأستراليا، ثم إلى الأمريكتين، مع زيادة أعداد البشر. فعندما انتشرت المجتمعات البشرية داخل أفريقيا، ربما ارتفع عدد سكانها إلى بضع عشرات الآلاف، أو حتى مئات الآلاف، رغم وجود تفاوتات محلّية في الأعداد. وكما رأينا، فقد انخفضت أعداد البشر إلى بضع عشرات الآلاف وحسب منذ سبعين ألف عام مضت. وبحسب تقديرات الديموغرافي الإيطالي ماسيمو ليفي-باتشي فإنه منذ ثلاثين ألف عام، ربما كان يوجد خمسمائة ألف إنسان وحسب، وبحلول بداية عصر الهولوسين، منذ عشرة آلاف عام وحسب، ربما كان يوجد خمسة أو ستة ملايين من البشر.

إذا أخذنا هذين الرقمين وحسب، سنجد أنهما يشيران إلى أن أعداد البشر قد زادت نحو اثني عشر ضعفًا (أو بمتوسط ربع مليون نسمة لكل ألف عام) في العشرين ألف عام الأخيرة من العصر الحجري القديم. ووفق الافتراض المعقول القائل بأن كل فرد يستهلك القدر نفسه من الطاقة أو أكثر، فهذا يشير إلى أن إجمالي استهلاك الطاقة البشري قد زاد أيضًا بنحو اثني عشر ضعفًا. فلقد زاد التعلّم الجمعي، على مدار أكثر من مائة ألف عام، من سيطرة البشر على تدفّقات الطاقة والموارد في العديد من أجزاء العالم المختلفة.

غالبية هذه التدفقات المتزايدة من الطاقة دعمت النمو السكاني. لم يُنفَق قدر كبير من الطاقة على التعقيد المتزايد على المستوى المحلي، إذ ظلّت المجتمعات البشرية صغيرة وحميمية كما رأينا. لكن على مستوى النوع بأكمله، لا يوجد شك في أن انتشار البشر حول العالم مثَّلَ زيادةً في التعقيد، لأنه بحلول عشرة آلاف عام

مضت، وظَّفَ البشر قدرًا أكثر تنوعًا بكثير من المعلومات والتقنيات مقارنة بأي نوع آخر على الأرض، وفعلوا هذا عبر السواد الأعظم من الكوكب.

ليس لدينا دليل على أن الطاقة المتزايدة زادت من بحبوحة العيش. ربما عاش بعض مجتمعات الصيد والجمع حياة طيبة. في الواقع، ذهب الأنثروبولوجي مارشال سالينز إلى أن في بعض البيئات، تمتعت مجتمعات العصر الحجري القديم بغذاء متنوّع، ومستويات مرتفعة من الصحة، وكمّيات كبيرة من وقت الفراغ، الذي أمكنهم استغلاله في رواية القصص أو النوم أو الاسترخاء، وفي الرقصات الماراثونية التي تبدو وكأنها كانت تربط غالبية المجتمعات الصغيرة معًا. لكن لم يكن من الممكن أن توجد اختلافات كبيرة في الثروة، لأن أفراد هذه المجتمعات لم يكن لديهم سبب لمراكمة السلع بينما هم يستطيعون الحصول على معظم ما يحتاجونه من البيئة المحيطة بهم. علاوة على ذلك، حين تكون في حالة حركة دائمة، لن تريد إلا امتلاك أقيَم السلع القابلة للحمل وحسب.

بعد أبرد فترات أحدث العصور الجليدية، منذ ما يربو قليلًا على عشرين ألف عام مضت، حلّت عدة آلاف من الأعوام من الدفء المتذبذب إلى أن استقرت درجات الحرارة العالمية، منذ نحو اثني عشر ألف عام مضت، بحيث شكّلت المنظومة الأدفأ والأكثر استقرارًا التي هيمنت على التاريخ الإنساني خلال عصر الهولوسين. وبنهاية العصر الجليدي الأخير، كان من شأن العلماء الفضائيين أن يهتموا بشدة بالحوادث الغريبة التي كانت جارية على كوكب الأرض. فبينما صار المناخ أدفأ، صارت سلوكيات البشر أكثر لفتًا للانتباه. وعلى حين غرة (بمقاييس علم الحفريات القديمة)، حصل البشر على تدفّقات أكبر بكثير من الطاقة عن طريق الزراعة، وهذه التدفّقات الجديدة أحدثت نقلات هائلة في تعقيد المجتمعات البشرية وتنوّعها وحجمها وتشابكها.

الفصل الثامن : الزراعة: المحطّة السابعة

حين أخذ آدم يحفر وحواء تغزل، من كان حينئذٍ السيد المهذّب؟ من البداية خُلق كل الرجال سواسية، وجاءت العبودية أو الاسترقاق بسبب الملكية الظالمة للرجال المشاغبين. إذ لو كان لدى الرب أي عبيد أرقاء من البداية، لكان قد حدّد من ينبغي أن يكون عبدًا، ومن يكون حرًّا.

جون بول،

موعظة ألقاها خلال ثورة الفلاحين الإنجليز

عاش أسلافنا حياة الصيد والجمع على مدار أول مائتي ألف عام أو أكثر من تاريخنا. وضَمِنَ تتابع الابتكارات قيامهم بنشاط الصيد والجمع بكفاءة متزايدة وفي نطاق متنوّع من البيئات إلى أن صار البشر يعيشون في غالبية أجزاء العالم بنهاية العصر الجليدي، منذ نحو عشرة آلاف عام مضت. وخلال العشرة آلاف عام الماضية تغيرت طرق الحياة البشرية تمامًا بفعل مجموعة متوالية من الابتكارات التي نصفها بمصطلح الزراعة أو الفِلاحة.

كانت الزراعة اختراعًا ضخم النطاق، يشبه بدرجة ما التمثيل الضوئي أو تعدد الخلايا. وقد وضع هذا الاختراع التاريخ الإنساني على مسارات جديدة وأكثر ديناميكية عن طريق مساعدة أسلافنا على استغلال تدفقات أعظم للموارد والطاقة مكنتهم من القيام بمزيد من الأعمال وبناء أشكال جديدة من الثروة. وكما حدث في حالة التهافت على الذهب، ولَّدت ثروات الطاقة سعيًا محمومًا للتغيّر. وفي النهاية غيرت علاقة البشر بالغلاف الحيوي لأن المجتمعات الزراعية المتنامية دعمت المزيد من السكان وطوّرت المزيد من الأجزاء المتحرّكة مقارنة بمجتمعات الصيد والجمع. وقد أدت زيادة الطاقة والموارد والبشر، والروابط بين المجتمعات، إلى دورات تغذية راجعة إيجابية أدت إلى تسريع وتيرة التغيير. ولكل هذه الأسباب، تعد الزراعة المحطة السابعة على سبيل التعقيد المتزايد.

كانت إمكانية الاختراعات التحويلية موجودة منذ أن ظهر التعلّم الجمعي لأول مرة، لكن الآن بدأت هذه الإمكانية تتحقّق كنتيجة لثلاثة ظروف مثالية أساسية، وهي: التقنيات الجديدة (والفهم المتزايد للبيئات المتولّد عبر التعلّم الجمعي)، والضغط السكاني المتزايد، والمناخات الأدفأ لعصر الهولوسين.

ما هي الزراعة؟

بينما صارت المجتمعات البشرية أفضل وأفضل في جمع المعلومات المتعلّقة ببيئاتها وإدارة هذه المعلومات، فإنها أخذت تصطاد وتلتقط الطعام بفهم ومهارة متزايدين، وأخذ تأثيرها على النباتات والحيوانات والمشاهد الطبيعية المحيطة ينمو. فقد غيّرت الزراعة باستخدام الشعلات، مثلًا، مناطق عديدة شاسعة، وزادت إنتاج النباتات والحيوانات التي كانت مفيدة للإنسان. وحين أبحر القبطان كوك وطاقمه إلى الشمال بامتداد الساحل الشرقي لأستراليا في العام ١٧٧٠، فإنهم لم يروا أرضًا برية، بل رأوا سحبًا بعيدة متصاعدة من الدخان الناتج عن حرق السكان الأصليين للأرض، ورأوا المشهد الطبيعي الذي غيّرته يد النشاط الإنساني على غرار الحدائق في موطنهم الإنجليزي. كانت الحيوانات الأسترالية الضخمة قد انقرضت منذ زمن بعيد، وهيمنت الأشجار الأليفة للنار كالأوكالبتوس على العديد من المشاهد الطبيعية الأسترالية والتي يرجع وجودها إلى آلاف الأعوام من الزراعة باستخدام الشعلات.

استخدم المزارعون المعلومات المتراكمة عبر آلاف الأعوام، شأنهم شأن الصيادين وجامعي الطعام، غير أنهم استخدموا هذه المعلومات بطرق جديدة من شأنها أن تأخذ استغلال البشر للبيئة إلى مستوى جديد بالكامل.

إن المبدأ الأساسي للزراعة بسيط للغاية؛ إذ يستخدم المزارعون معرفتهم بالبيئة كي يزيدوا إنتاج المحاصيل والحيوانات التي يجدونها مفيدة لهم ويقلّلوا إنتاج المحاصيل والحيوانات التي لا يستفيدون منها. فجهّز المزارعون الأراضي ورووها كي يساعدوا في إنماء النباتات التي يريدونها، كالقمح والأرز، وشيّدوا حظائر لرعاية الحيوانات التي يقدّرونها، كالأغنام والماعز، لكنهم أيضًا تخلّصوا من الحشائش الضارّة وأبعدوا أو قتلوا الحيوانات التي لم يحبّوها، كالثعابين والجرذان. غيّرت هذه الأنشطة وجه المشهد الطبيعي تمامًا، واستجابت النباتات والحيوانات لهذه البيئات الجديدة بالصورة ذاتها التي استجابت بها لكل التغيرات البيئية الأخرى، عن طريق التكيف وراثيًّا، وعن طريق التطوّر. لهذا السبب بدأت أنواع جديدة من النباتات والحيوانات في الظهور حين غيّر المزارعون البيئة الخاصّة بها. وكانت أكثر البيئات ازدهارًا هي تلك التي أرضت البشر، لأنها كانت هي البيئات التي اعتنى بها البشر بأقصى درجات الحرص. تطوّرت النباتات المغذية، كالقمح والأرز، وكذلك الحيوانات المعاونة، كالكلاب المستأنسة والخيول والماشية والأغنام. وقد ساعدت الحيوانات المستأنسة الصيادين، أو حملت الناس

والبضائع، أو وفَّرَت الصوف أو اللبن. كما أنها وفّرت لهم، عند ذبحها، اللحم والجلود والعظام والأوتار.

وجد المزارعون أن تحويل بيئتهم كان أمرًا شاقًّا. لكن في مقابل عمليات القَطْع والحرث وإزالة الحشائش الضارّة وتصريف المياه وبناء الأسيجة، فإنهم حصلوا على قدر أكبر بكثير من الطاقة والموارد من الأراضي والأنهار والغابات المحيطة بهم؛ لأن الأنواع التي يفضّلونها ازدهرت بشكل رائع. وقد أتاح هذا للمزارعين استغلال المزيد من طاقة التمثيل الضوئي المتدفّقة عبر الغلاف الحيوي. إن إجمالي تدفّق طاقة التمثيل الضوئي لم يزدد في حد ذاته بطبيعة الحال، بل وربما يكون قد انخفض مع إزالة المزارعين لنباتات ذات إنتاجية مرتفعة كالأشجار. لكن بالنسبة إلى المزارعين، كان الأمر المهم هو أنه صار بمقدورهم الآن الوصول إلى حصة أكبر من التدفّقات الموجودة حولهم.

وفّرت الزراعة للمزارعين ما هو أكثر من الطعام والأخشاب والألياف؛ إذ منحتهم أيضًا سبيلًا غير مباشر إلى تدفّقات جديدة من الطّاقة. فعلى سبيل المثال، لا يستطيع البشر أكل الحشائش، لكن باستطاعة الخيول والثيران عمل ذلك، وبهذا فإن المزارعين الذين كانوا يسمحون لهذه الحيوانات بالرعي، ثم يستخدمونها في الركوب أو الجرّ أو كانوا يقتلونها ويأكلونها، إنما كانوا بهذا يحصلون على تدفّقات عظيمة من طاقة التمثيل الضوئي عن طريق المراعي. وقد أحدث هذا اختلافًا كبيرًا؛ فالإنسان يستطيع توليد نحو ٧٥ واطًا من الطّاقة، بينما يستطيع الحصان أو الثور توليد عشرة أضعاف هذا المقدار. وقد أمكن استخدام كل هذه الطّاقة الإضافية في حراثة الأرض بصورة أعمق مما تستطيعه العزَّاقات اليدوية، أو في نقل البضائع أو حمل البشر. كما استطاع المزارعون بسهولة زيادة إنتاج النباتات والحيوانات التي لها استخدامات أخرى إلى جانب الطعام، كالكتان والقطن، والتي أمكن استخدامها في صنع المنسوجات. أو كان بمقدورهم زراعة الأشجار واستخدام الأخشاب في بناء المنازل والمزارع والحظائر والأسوار، أو حرقه لطهو الطعام وتدفئة المنازل.

ببساطة، مثَّلت الزارعة استغلالًا للطاقة والموارد من جانب نوع واحد واسع الحيلة يستطيع الحصول على كمّيات متزايدة من المعلومات حول كيفية استغلال بيئته. وبفضل سحر التعلّم الجمعي، اكتشف البشر كيف يزيدون نصيبهم من الطّاقة والموارد التي تتدفّق في أرجاء الغلاف الحيوي عن طريق تحويل المزيد والمزيد

من هذه التدفّقات إلى الاستخدامات البشرية، على النحو ذاته الذي يحوّل به البشر الأنهار الكبيرة نحو حقولهم وإلى داخل مدنهم.

في نظر البيولوجيين، تبدو الزراعة صورة من صور التكافل: فهي علاقة إفادة متبادلة وحميمة بين نوعين منفصلين. استغل الصيادون وجامعو الطعام مئات الأنواع المختلفة من النباتات والحيوانات والحشرات، غير أن المزارعين ركزوا على عدد قليل من الأنواع المفضّلة، وبهذا أقاموا علاقات شديدة الحميمية معها. وكثيرًا ما تؤدّي علاقات التكافل شديدة الترابط إلى تغييرات في السلوك وفي التركيب الجيني لكلا النوعين. إن نمل العسل المعاصر «يدجّن» حشرات المَن، إذ يحميها ويمدها بالغذاء ويساعدها على التكاثر. وحاليًّا، تغيرت حشرات المَنِّ كثيرًا إلى درجة أنها لم تعد قادرة على البقاء بمفردها، وهي تدفع مقابل الغذاء والحماية عن طريق تزويد النمل بالعسل حين يمسّدها النمل برفق. وثمة علاقة مألوفة بدرجة أكبر وشديدة الأهمية هي العلاقة بين النباتات والنحل، فالنحل يحصل على الرحيق، بينما تتكاثر الأزهار بصورة أكثر موثوقية لأن النحل يحمل حبوب اللقاح من زهرة إلى أخرى، وإذا قتلت عددًا كبيرًا للغاية من النحل، فستعاني غلة الحبوب التي
تطعم مليارات البشر اليوم من نقص خطير.

إن الأنواع المفضلة التي أنفق المزارعون عليها قدرًا كبيرًا من الرعاية والعمل (عملية التدجين) لم تحظَ بالكثير على مستوى جودة الحياة، غير أنها أبلت بلاءً حسنًا على المستوى الديموغرافي؛ إذ زادت أعدادها بشدّة، بينما انخفضت أعداد الحيوانات البرّية (الحيوانات التي لم يكن المزارعون مهتمين بها). وفي العام ٢٠٠٠، بلغ إجمالي الكتلة الحيوية لجميع الثدييات البرّية جزءًا من أربعة وعشرين جزءًا من كتلة الثدّييات المُدجَّنة.

يغيّر التكافل كل الأنواع ذات الصلة، لأنها تتطوّر على نحو مشترك معًا. قارن أكواز الذرة الحالية بالذرة الريانية، سلفها البري الرث. أو قارن الأغنام البرية بنظيرتها المُدجَّنة. سيبدو الحيوان المُدجَّن كما لو أنه قد تطوّر كي يُرضي البشر. فهو وديع (بل وربما يقول البعض، في قسوة، إنه أغبى من نظيره البري)، وينتج من الصوف أكثر مما يحتاجه، ولحمه يروق للبشر، ولا يستطيع البقاء من دون حماية البشر. من المنظور الديموغرافي، هذه استراتيجية تطوّرية ناجحة للغاية.

واليوم، يوجد أكثر من مليار رأس من الغنم المدجّن في مقابل عدد قليل لا يُذكَر من الأغنام البرية.

تغيّر البشر أيضًا، لكن بطرق مختلفة. وغالبية التعديلات التي مروا بها كانت ثقافية أكثر من كونها وراثية. كما تغير البشر وراثيًّا نتيجة للزراعة. فعلى سبيل المثال، إذا كنت منحدرًا عن أشخاص كانوا يرعون الماشية ويشربون ألبان الماشية أو الخيول، فستكون قادرًا على الأرجح على هضم ألبانها حتى وأنت بالغ، لأنك لا تزال تنتج إنزيم اللاكتيز، الذي يهضم اللاكتوز (سكر اللبن). استهلك الصيادون وجامعو الطعام ألبان الأمهات فقط حتى سن الرابعة تقريبًا، وبعد فترة الطفولة، لم يعودوا بحاجة إلى إنتاج اللاكتيز. لكن في الأماكن التي صارت فيها ألبان الماشية أو الخيول مصدرًا مهمًّا للغذاء، بدأ البشر في إنتاج إنزيم اللاكتيز وهم بالغون، إذ حدثت لهم طفرة وراثية.

لكن في غالب الأحيان كان البشر يتكيّفون مع علاقات الزراعة التكافلية لا عن طريق التغيّرات الوراثية، وإنما عن طريق السلوكيات الجديدة: إذ تراكمت الابتكارات التكنولوجية والاجتماعية والثقافية من خلال التعلّم الجمعي. وقد طوّر البشر طرقًا جديدة لاستغلال الأراضي والغابات والأنهار. وبينما كانوا يفعلون ذلك، فقد تعيّن عليهم أن يتعلّموا طرقًا جديدة للتعاون والعيش معًا. إن التغيّر الثقافي يحدث أسرع كثيرًا من التغيّر الوراثي، وهذا يفسر لماذا غيرت الزراعة حياة البشر في غضون أجيال قليلة وحسب.

تاريخ وجغرافيا الزراعة المبكرة

استغرق البشر مائة أو مائتي ألف عام في تكييف تقنيات الصيد والجمع مع البيئات العديدة المختلفة لكوكب الأرض. بينما انتشرت الزراعة حول العالم في أقل من عشرة آلاف عام؛ إذ عدَّل المزارعون طرق الزراعة خاصّتهم مع الأنواع المختلفة من الكائنات والتربة والمناخات. واليوم، يمكننا تتبّع انتشار الزراعة بالطريقة عينها التي يمكننا أن نتتبّع بها انتشار أي مرض انطلاقًا من عدد من مراكز العدوى المختلفة.

لم تنتشر الزراعة على نحو متساوٍ أو بسلاسة؛ إذ انتشرت بسرعة في بعض المناطق وببطء في مناطق أخرى، بينما لم تنتشر بدرجة تُذكَر في بعض المناطق الأخرى، وهذه الاختلافات كان لها تأثير كبير على جغرافيا التاريخ الإنساني.

فبحلول الوقت الذي انتشرت فيه الزراعة، كان البشر موزعين عبر مساحات شاسعة إلى درجة أن الحوادث التي كانت تقع في أحد أجزاء العالم لم يكن لها تأثير يُذكَر في أي مكان آخر. كانت التغيّرات الكبيرة تحدث في كلّ مجتمع على حدة، وكانت تنتشر أولًا عبر الشبكات المحلّية. ومع الوقت، انتقلت الأفكار عبر مساحات أكبر، لكن حتى خمسمائة عام مضت كانت توجد حواجز أساسية تعوق حركة البشر والأفكار والتكنولوجيات، ومن بينها الزراعة. فقد تسبّبت مستويات البحار المرتفعة التي أعقبت آخر العصور الجليدية في قطع الصلات بين أوراسيا والأمريكتين، ولم يكن ثمة أي نوع من الاتصال بين أوراسيا وأستراليا أو بين الجزر الموجودة في غرب المحيط الهادئ، التي جرى استيطان بعضها منذ ثلاثين ألف عام. وبالتبعية، كان البشر يعيشون في عدد من الجزر أو المناطق العالمية المعزولة. وداخل هذه المناطق، كان التاريخ الإنساني يسير كما لو أن سكان هذه المناطق يعيشون على كواكب مختلفة.

كانت أكبر وأقدم المناطق العالمية هي الكتلة الأفرو-أوراسية. هذا هو المكان الذي تطوّر فيه البشر، ونظرًا لوجود جسرٍ بريٍّ بين أفريقيا وأوراسيا، كان بمقدور الأفكار والبشر والبضائع الانتقال على مراحل عبر مسافات شاسعة. ثاني أقدم المناطق العالمية هي أستراليا، التي جرى استيطانها منذ نحو ستين ألف عام مضت. كان العالم الأسترالي-الآسيوي متصلًا بكل من بابوا غينيا الجديدة وتاسمانيا خلال العصر الجليدي الأخير لكن كانت له صلات ضعيفة للغاية بأوراسيا. أما ثالث أكبر المناطق العالمية، الأمريكتين، فقد جرى استيطانها منذ ما لا يقل عن خمسة عشر ألف عام لكنها انعزلت بالكامل تقريبًا عن أوراسيا حين غمرت مياه المحيط مضيق بيرنج في نهاية العصر الجليدي الأخير. وفي الألفيات الأخيرة، ظهرت منطقة رابعة في المحيط الهادئ؛ إذ ربما جرى استيطان الجزر الغربية مثل جزر سليمان منذ نحو أربعين ألف عام، لكن الجزر الواقعة إلى الشرق والجنوب (بما فيها نيوزيلندا وهاواي وجزر الفصح) جرى استيطانها خلال سلسلة مدهشة من الهجرات بحرًا بدأت منذ خمس وثلاثين ألف عام مضت.

أدى وجود مناطق عالمية مختلفة إلى تجربة طبيعية استثنائية لأن بوسعنا، بينما ننظر إلى هذه الأوقات، أن نرى كيف سار التاريخ الإنساني في المناطق المختلفة. كانت هناك أوجه شبه مهمة في تواريخ المناطق العالمية، ففي كل مكان أدى التعلّم الجمعي إلى تطوير تكنولوجيات جديدة، وبناء علاقات اجتماعية جديدة، وترسيخ

تقاليد ثقافية جديدة. غير أنه فعل هذا بسرعات متفاوتة، وكان هذا يعني أن الزراعة تطوّرت بطرق منفصلة، وخلقت تواريخ إقليمية مختلفة للغاية، وقد كان لهذه الاختلافات أهمية شديدة حين اتصلت المناطق العالمية من جديد بعد العام ١٥٠٠.

ظهرت الزراعة أولًا في المنطقة العالمية الأفرو-أوراسية، وانتشرت من هناك وكان لها أكبر الأثر. كما ظهرت الزراعة في زمن مبكر في بابوا غينيا الجديدة. وفي النهاية ازدهرت كذلك في الأمريكتين. وفي غير ذلك من الأماكن، رغم أن مجتمعات عديدة استكشفت بعض صور الزراعة، فإن تأثيرها كان أقل بروزًا.

منذ أربعة عشر ألف عام مضت، كان الصيادون وجامعو الطعام قد انتشروا في كل مناطق العالم المختلفة، وبدأ بعضهم، خاصّة في المنطقة العالمية الأفرو-أوراسية، في الاستقرار وإعادة ترتيب بيئاتهم. وبعد ذلك بخمسة آلاف عام، كان من الممكن العثور على قرى زراعية في مناطق اتصال القارتين الأفريقية والأوراسية على امتداد نهر النيل وفي قوس المرتفعات الواقعة على الشواطئ الشرقية للبحر المتوسط والمعروفة باسم الهلال الخصيب. وبعد ذلك بألفي عام، وفي منطقة مختلفة تمامًا، ظهرت القرى الزراعية في مرتفعات بابوا غينيا الجديدة. ومنذ أربعة آلاف عام مضت، كان من الممكن العثور على مجتمعات زراعية في العديد من أجزاء أفريقيا وأوروبا، وفي غالبية أجزاء جنوب وجنوب شرقي وشرق آسيا، وفي منطقة الأمريكتين. بحلول ذلك الوقت كان من المرجّح أن غالبية البشر يعتمدون على الزراعة؛ لأن الزراعة كانت تعيل تجمّعات سكانية أكبر من الصيد والجمع. غير أن مناطق كبيرة من العالم، تتضمّن أستراليا والمحيط الهادئ ومناطق كثيرة من الأمريكتين والمنطقة الأفرو-أوراسية، كانت لا تزال تسكنها مجتمعات موزّعة من جماعات الصيادين وجامعي الطعام الرُّحَّل، رغم أنه حتى في هذه الأماكن نرى أحيانًا خطوات صغيرة على الطريق نحو الزراعة.

تطوّرت الزراعة، أو أنشطة قريبة من الزراعة، على نحو منفصل في أجزاء مختلفة من العالم. فهي لم تكن اختراعًا ظهر لمرة واحدة وحسب في تاريخ البشر. وهذا يشير إلى شيء شديد الأهمية، وهو أنه بينما راكمت المجتمعات البشرية المستقلة المزيد من المعارف التكنولوجية والإيكولوجية، فقد كانت توجد احتمالية مرتفعة بأن هذه المجتمعات، أينما كانت، ستستخدم هذه المعارف التي راكمتها من حياة الصيد والجمع في تطوير تقنيات للزراعة. لكن كان من المرجح أن تفعل هذا

فقط إذا كانت ثمة حاجة إلى موارد إضافية يمكن للزراعة أن توفّرها لأن الزراعة، على أي حال، كانت عملًا مرهقًا وكانت تعني تغيير أسلوب حياة المجتمع بالكامل.

لماذا أقدم البشر على الزراعة؟ عبور المحطّة السابعة

في نهاية العصر الجليدي الأخير، تسبب تغييران عالميان حدثا على نحو متزامن في جعل الزراعة تبدو

جذابة في عدد من المناطق. أولًا، بدأ الدفء والرطوبة يهيمنان على المناخات حول العالم، وثانيًا، شغل الصيادون وجامعو الطعام مساحة كبيرة من كوكب الأرض إلى درجة أن بعض الأماكن بدأ يبدو مكتظًّا بالسكان. دفع كلا التغييرَيْن البشر نحو الزراعة. ولأن هذين التغييرين كانا ملموسين بدرجة ما في مختلف مناطق العالم، فهما يساعدان في تفسير الحقيقة الغريبة التي تفيد بأن الزراعة قد ظهرت في غضون آلاف قليلة من الأعوام في أجزاء من العالم لم يكن لها أي اتصال بعضها ببعض.

بدأ المناخ يصير أدفأ، على نحو متقطّع، منذ نحو عشرين ألف عام مضت، ومنذ ثلاثة عشر ألف عام، كان متوسّط درجات الحرارة العالمية مشابهًا لما هو عليه اليوم. بعد ذلك، وخلال الفترة الوجيزة الباردة المعروفة باسم حقبة الدرياس الأحدث، انخفضت درجات الحرارة بشدة لما لا يقلّ عن ألف عام، وبعد هذا عاودت الارتفاع مجدّدًا. وعلى مدار نحو عشرة آلاف عام، ظلّت المناخات مستقرّة بصورة غير معتادة. وقد جعلت المناخات الأدفأ والأكثر رطوبة، وكذلك الاستقرار الاستثنائي للمناخات، الزراعة قابلة للتطبيق بدرجة أكبر مما كانت عليه طيلة ما لا يقلّ عن مائة ألف عام، وهو ما وفّر ظروفًا مثالية للحقبة الزراعية بأكملها. وتبيّن مخطّطات الرسوم البيانية الخاصّة بمتوسط درجات الحرارة عبر الستين ألف عام الماضية بوضوح، وجود استقرار مناخي استثنائي على مدار العشرة آلاف عام الماضية، رغم أن التفاوتات كانت أعظم بعيدًا عن المناطق الاستوائية.

أوجدت المناخات الأدفأ والأكثر رطوبة في أوائل عصر الهولوسين بضع مناطق ذات وفرة وتنوع في الحياة النباتية شكّلت «جنات عدن» ثرية للصيادين وجامعي الطعام المحلّيين. وقد كانت الموارد في بعض هذه المناطق وفيرة للغاية إلى درجة أنه كان بمقدور الصيادين وجامعي الطعام الاستقرار في مجتمعات أو في قرى دائمة. ومؤخّرًا، عُثر على بيوت حجرية دائرية عمرها تسعة آلاف عام في أرخبيل

دامبير، قبالة الساحل الغربي لأستراليا. كما خضعت تغيّرات مماثلة للدراسة على أوثق نحو في منطقة الهلال الخصيب، على السواحل الشرقية للبحر المتوسط. وهنا، بدأت منذ أربعة عشر ألف عام المجتمعات المعروفة للأثريين باسم المجتمعات النطوفية في العيش داخل قرى دائمة تضم مئات الأشخاص. وقد كانوا يحصدون الحبوب البرّية مستخدمين مناجل مصنوعة من حجر الصوان المشحوذ المغروس داخل عظام فكوك الحمير. كما كانوا يحتفظون بالغزلان في حظائر. وقد شيّدوا المنازل ودفنوا موتاهم في مقابر. لم يكونوا مزارعين بعد؛ إذ تنتمي حبوب اللقاح التي عُثر عليها في هذه المواقع إلى الأنواع البرية، غير أنهم كانوا مستقرّين ويعيشون في قرى. ويصف الأثريون هذه المجتمعات بأنها «مجتمعات الصّيد والجمع الرغيدة».

ربما شجّع الضغط السكاني النطوفيين أيضًا على أن يصيروا أكثر من مستقرّين وحسب. فهناك الكثير من المستعمرات النطوفية، وهو ما يشير إلى أن عدد السكان كان ينمو بسرعة في منطقة الهلال الخصيب. ليس هذا بالأمر المفاجئ لأن منطقة الهلال الخصيب تمرّ بها طرق الهجرة الرئيسية بين أفريقيا وأوراسيا، وهو ما أدى على الأرجح إلى زيادة أعداد الوافدين الجدد.

شجع الاستيطان على زيادة النمو السكّاني بطرق عديدة مختلفة. فالصيادون وجامعو الطعام، الذين كانوا يعون جيّدًا أن الأرض لن تعيل إلا عددًا قليلًا فقط من الأشخاص، عادة ما حاولوا الحدّ من الزيادة السكانية. ومع ذلك ففي داخل القرى لم يعد يتعيّن حَمل الأطفال الرضع، وفي النهاية كان يتم استغلال الأطفال في العمل. وقد أدى هذا إلى تغير في التوجّهات المتّصلة بالأسرة والأطفال وبأدوار الجنسين. ففي القرى، كان إنجاب العديد من الأطفال يوفّر قوّة عمل وفيرة للمنزل، علاوة على الحماية ورعاية المسنين. ولهذا السبب ففي غالبية المجتمعات المستقرّة كان متوقّعًا من النساء أن ينجبن أكبر عدد ممكن من الأطفال، ومن أسباب ذلك أنهن كُنَّ يعلمن أن نصف عدد الأطفال سيموت على الأرجح قبل الوصول إلى البلوغ. وقد أدت هذه التوجّهات إلى تعميق الاختلافات في أدوار الجنسين، وضمنت أن حياة غالبية النساء ستهيمن عليها عملية الحمل وتربية الأطفال خلال الحقبة الزراعية من التاريخ الإنساني. وتفسر القواعد عينها لماذا، في غضون بضعة أجيال، تعين على كثير من قُرى الصيد والجمع الرغدة أن تواجه مشكلة الزيادة السكانية.

مع زيادة أعداد السكان، تعين على النطوفيين استخلاص المزيد من الموارد من الأرض. كان هذا يعني الاعتناء بالأراضي بحرص أكبر، وفي النهاية كان يعني تبنّي صورة ما من صور الزراعة. كان النطوفيون يقعون في شرك مغرٍ؛ فقد شيّدوا أولى قراهم في ما بدا أشبه بجنة بيئية، لكن في غضون بضعة أجيال كان عليهم مواجهة أزمة سكانية، وبما أن المجتمعات المجاورة كانت تنمو بسرعة هي أيضًا، فلم يكن في استطاعتهم استخدام المزيد من الأراضي. بدلًا من ذلك فقد تعيّن عليهم القيام بكل الحيل التي يعرفونها كي يزيدوا إنتاجية الأراضي التي لديهم بالفعل. وقد دفعتهم هذه الضغوط، رُغمًا عنهم على الأرجح، إلى حياة المزارعين الشاقّة، وبينما كانوا يتعلّمون ما يعنيه كونهم مزارعين، فقد نسوا ما يعنيه كونهم صيادين وجامعين للطعام. وكما يحدث دائمًا في التعلم الجمعي فإن تراكم المعارف الجديدة كان يؤدّي إلى أفول المعارف والرؤى القديمة. وقد غيّرت ضغوط مشابهة مجتمعات الصيادين وجامعي الطعام في أجزاء عديدة مختلفة من العالم مع نمو عدد السكان.

نجد بعضًا من أفضل الأدلة على التحوّل من حياة الصيد والجمع الرغدة إلى الزراعة من منطقة تل أبي هريرة في شمال سوريا المعاصرة، بالقرب من وادي الفرات. اكتُشف الموقع في أوائل سبعينيات القرن العشرين وجرى التنقيب فيه لموسمين قبل أن تغمره مياه أحد السدود. كانت المستويات الأولى تتألف من مجموعة من البيوت الدائرية المماثلة لبيوت الصيادين وجامعي الطعام النطوفيين، وكان عمرها ثلاثة عشر ألف عام. كان السكان يصطادون الغزلان والحمير البرية، ويجمعون مجموعة متنوّعة من المأكولات، منها الجوز والفاكهة والحبوب البرّية، وحين تدهور المناخ خلال فترة البرودة التي استمرّت لألف عام وعُرِفَت باسم حقبة الدرياس الأحدث، اختفت فاكهة المناخ الدافئ، وبدأ أهل القرى في الاعتماد على الحبوب الصلبة، رغم أنها كانت أصعب في الجمع والأكل، وفي النهاية، اعتمدوا على مجموعات مُدجَّنة من حبوب الجاودار المتكيّفة مع المناخ البارد، وهكذا يبدو أن التغيّر المناخي هو ما حوَّل الصيادين وجامعي الطعام إلى مزارعين، على الأقل في موقع تل أبي هريرة. وقرب نهاية هذه الحقبة الباردة، هُجر الموقع لمئات عدّة من الأعوام، ثم أعيد استيطانه منذ نحو أحد عشر ألف عام مضت. في ذلك الوقت ظهرت قرية كبيرة، فيها مئات من المنازل المستطيلة المصنوعة من الطوب واللبِن ويقطنها عدة آلاف من الأشخاص كانوا يزرعون

الحبوب المدجَّنة ويصطادون الغزلان والأغنام البرية. بعد ذلك، وعلى نحو مباغت، زادت أعداد عظام الأغنام، وهي علامة مؤكّدة على أنه جرى تدجين الأغنام بالكامل. وتكشف الرّفات البشرية عن صعوبة الحياة التي عاشها المزارعون الأوائل؛ فكل الهياكل العظمية أسنانها متآكلة بشدة بسبب الحبوب المهيمنة على نظامها الغذائي، رغم أن تآكل الأسنان تضاءل مع ظهور الأواني الفخارية، التي جعلت من الممكن تحويل الحبوب إلى عصيدة. كما تظهر عظام الإناث أدلة واضحة على التآكل نتيجة قضاء ساعات طويلة في الاهتزاز أمامًا وخلفًا على الركبتين خلال عملية طحن الحبوب.

يمكننا بثقة أن نقول إن المزارعين الأوائل أقدموا على الزراعة رُغمًا عنهم، وذلك من واقع تردّي مستويات المعيشة في أوائل القرى الزراعية. فالهياكل العظمية التي عُثر عليها في القرى الزراعية المبكرة في منطقة الهلال الخصيب أقصر في المعتاد من تلك الخاصّة بجيرانهم الصيادين وجامعي الطعام، وهو ما يشير إلى أن نظامهم الغذائي كان أقلّ تنوّعًا. فرغم أن المزارعين كانوا قادرين على إنتاج المزيد من الغذاء، فقد كان من المرجّح بدرجة أكبر أن يعانوا من المجاعة، وذلك لأنّهم، على العكس من الصيادين وجامعي الطعام، كانوا يعتمدون على عدد صغير من المحاصيل الرئيسية، وإذا أخفقت تلك المحاصيل، كانوا يقعون في مأزق شديد. وتظهر عظام المزارعين الأوائل أدلّة على نقص الفيتامينات، الذي سببه على الأرجح فترات منتظمة من المجاعة بين فترات الحصاد. كما أنها تظهر علامات على التوتر، المرتبط ربما بالجهد الشاقّ المطلوب لعملية الحراثة والحصاد وقطع الأشجار وبناء البيوت والأسيجة، وطحن الحبوب. كما أنتجت القرى كذلك مخلّفات، اجتذبت الهوام، وكان عددها كبيرًا بما يكفي لنشر الأمراض التي لم يكن من الممكن أن تدوم في المجتمعات الأصغر المتنقّلة للصيادين وجامعي الطعام. وكل هذه الأدلّة على الصحة المتدهورة تشير إلى أن المزارعين الأوائل دُفعوا إلى نمط الحياة الزراعي المعقّد والشديد التشابك عوضًا عن أن يجري اجتذابهم إليه بسبب مزاياه.

كيف تعلّم المزارعون الحصول على مزيد من المحصول من قطعة الأرض نفسها؟ وكيف، في الواقع،

تعلّموا الزراعة؟ هنا تظهر قوة التعلم الجمعي في أوضح صورها. فعندما تواجه غالبية الأنواع الأخرى أزمات إيكولوجية مشابهة فإنها تصل إلى طريق مسدود

على المستوى الديموغرافي. وهذا يفسر لنا منحنى النمو السكّاني الذي يتّخذ شكل الحرف S لدى غالبية أنواع الكائنات: فالنوع الجديد يتكاثر إلى أن يستخلص كل طاقة الغذاء الموجودة في بيئته المحلّية، وبعد ذلك يجوع الأفراد، وتنخفض معدلات الخصوبة، ويتوقّف النمو السكاني. لدى البشر مزيدًا من الخيارات لأن لديهم مزيدًا من المعلومات. غالبية هذه المعلومات لم تكن مطلوبة من قبل، فقد كانت معارف كامنة، تشبه الطاقة الكامنة؛ وهي معارف محفوظة في مستودع ويمكن تنشيطها إذًا، وكلما، دعت الحاجة إلى ذلك. يمتلك الصيادون وجامعو الطعام المعاصرون الكثير من المعارف الكامنة التي يمكن تنشيطها عند الأزمات، وبالتأكيد امتلك النطوفيون هذا النوع من المعرفة؛ فقد كانوا يعرفون أن النباتات التي يحبّونها كانت تنمو بصورة أفضل إذا قاموا بريّها وإذا أزالوا الحشائش المنافسة. في القرون الأخيرة، استحدثت مجتمعات الصيد والجمع في أستراليا مزيدًا من التكنولوجيات المكثّفة، على غرار حصاد الحبوب (باستخدام مناجل مصنوعة من نصال حجرية لها مقابض مغطاة بالفراء، في شمال أستراليا)، أو طحن الحبوب، أو تربية ثعابين الماء في منظومات قنوات صغيرة مبنية لهذا الغرض. لكن في غالبية الأوقات لا يكترث الصيادون وجامعو الطعام بهذه التكنولوجيات، لأنه لا توجد حاجة إليها، ولأنها تتطلّب كثيرًا من الجهد الإضافي. وفي مناطق مثل الهلال الخصيب، وفّرت التغيّرات المناخية والديموغرافية في بدايات عصر الهولوسين كلًّا من الفرصة الملائمة والدافع لاستخدام هذه التكنولوجيات الاحتياطية بصورة مستمرّة. وهذا هو ما حوَّل الصيادين وجامعي الطعام إلى مزارعين.

واختصارًا نقول إن المناخات الأدفأ جعلت حياة القرية والزراعة ممكنة في عدد من المناطق المواتية، وأن الضغوط السكانية جعلت ذلك ضروريًّا في بعض الأحيان، وأن المعرفة المُختزنة التي جمعها الصيادون وجامعو الطعام على مدار آلاف الأعوام وفّرت التكنولوجيات الناشئة التي استخدمها المزارعون الأوائل.

تشكّلت جغرافيا الزراعة المبكرة نتيجة حركة الصفائح التكتونية بالإضافة إلى أنواع النباتات والحيوانات التي تطوّرت في مناطق معيّنة. أمكن تدجين بعض النباتات والحيوانات بسهولة تامة، بينما لم يكن ذلك ممكنًا لنباتات وحيوانات أخرى، كما انجذب الصيادون وجامعو الطعام إلى مناطق كالهلال الخصيب. مناطق فيها نباتات وحيوانات من السهل تدجينها. ومن المؤكّد أن الصيادين وجامعي الطعام قد جرّبوا تدجين أنواع أخرى. كانت أكثر النباتات جاذبية هي

تلك التي تبني مستودعات غذائية ثريّة في بذورها، على غرار الأشجار المثمرة. بل والأفضل من ذلك كانت النباتات الموسمية ذات الدرنات أو البذور الدهنية التي تخزن القيمة الغذائية لمساعدة البشر على اجتياز فترات الجفاف. وقد وفّر القمح والأرز، عند حصدهما في ذروتهما، مصادر مركّزة من الغذاء بحيث إنها كانت تستحق الجهد العظيم المبذول في زراعتها وحمايتها وريّها وحصادها وتخزينها.

تفاوتت الحيوانات أيضًا من حيث فائدتها. فقد كانت الحمير الوحشية مشاكسة إلى درجة منعت ترويضها، كما كانت الأسود والنمور خطيرة للغاية ولم يكن مذاقها جيّدًا، غير أن قطعان حيوانات كالماعز والماشية والخيول كانت أيسر في التحكّم، خاصّة لو احتلّ البشر مكانة قائد القطيع. وإذا كانت الحيوانات تأكل العشب، فقد كان بمقدورها تحويل العشب إلى لحم ولبن وألياف وقوة عضلية، وهو ما مكَّن الإنسان من استغلال الأراضي العشبيّة الشاسعة حول العالم، كما أن لحومها كانت لذيذة الطعم ومغذّية في المعتاد. لكن بحلول الوقت الذي بدأت الزراعة تنتشر فيه، كان من الممكن العثور على عاشبات ضخمة الحجم قابلة للتدجين في أفريقيا وأوراسيا. وكما رأينا من قبل، فقد دُفعَت غالبية الحيوانات الضخمة إلى الانقراض (باستثناء فصيلة الجمَليات في أمريكا الجنوبية مثل اللاما) في كل من أستراليا والأمريكتين، ربما عقب وصول البشر بقليل. وقد يساعد هذا في تفسير لماذا ازدهرت الزراعة في وقت مبكر وانتشرت على نطاق أوسع في المنطقة الأفرو-أوراسية مقارنة ببقية مناطق العالم.

الحقبة الزراعيّة المبكرة: انتشار الزراعة حول العالم

بعد ظهور القرى الزراعية في عدد من المناطق المحورية، زاد عددها وانتشرت بينما شحذ المزارعون مهاراتهم وتعلّموا طرقًا جديدة لزيادة الإنتاج، وأدخلوا الزراعة إلى مناطق جديدة.

كانت الأنهار الكبرى قد رسَّبَت التربة الغروية الخصبة لآلاف الأعوام، كما في نهرَي دجلة والفرات، والنهر الأصفر (هوانج هي) ونهر يانجتسي في الصين، ونهري السند والغانج في شبه القارة الهندية، وهو ما اجتذب أعدادًا متزايدة من المزارعين. ظهرت القرى الزراعية في منطقة الهلال الخصيب وحوض نهر النيل منذ نحو أحد عشر ألف عام تقريبًا، ثم على امتداد نهري يانجتسي والنهر الأصفر بعد ذلك بألف عام أو ألفين، وبحلول ستة أو سبعة آلاف عام مضت،

كانت المحاصيل الغذائية، كالقلقاس، تُزرَع في مرتفعات بابوا غينيا الجديدة، وبين خمسة آلاف وأربعة آلاف عام مضت، كانت توجد قرًى زراعية في وادي السند وفي غرب أفريقيا. كما ظهر المزارعون أيضًا في منطقة الأمريكتين: على امتداد نهر الميسيسيبي، وفي أجزاء من المكسيك الحالية وأمريكا الوسطى، وفي منطقة الأنديز، التي وفّرت جبالها بيئات متنوعة وطيفًا عريضًا من الكائنات القابلة للتدجين.

لم يكن انتشار الزراعة من المناطق المحورية التي ظهرت فيها للمرّة الأولى بالأمر التلقائي. فعلى سبيل المثال، لم تنتشر الزراعة من مرتفعات بابوا غينيا الجديدة إلى الأراضي المنخفضة الساحلية هناك، التي لم تكن نباتات المرتفعات كالقلقاس والبطاطا الحلوة تزدهر فيها بنفس الدرجة.

وبينما دفع الضغط السكاني المهاجرين إلى بيئات جديدة، فقد تعيّن عليهم تعديل تقنياتهم الزراعية، وأحيانًا كان عليهم الانتظار حتى تتطوّر أنواع جديدة من حيواناتهم المدجّنة. وقد انتشرت الزراعة من منطقة الهلال الخصيب إلى وسط آسيا وتركيا، ثم إلى البلقان وأوروبا الشرقية وأوروبا الغربية، وذلك في الفترة المتراوحة بين ثمانية آلاف وأربعة آلاف عام مضت. وبينما انتشرت الزراعة إلى المناطق الأبرد وذات الغابات الأكثف في أوروبا، بما فيها من أنواع تربة ومواسم وآفات مختلفة، فقد تعيّن على المزارعين ومحاصيلهم التكيّف مع الأمر. وفي وسط أوروبا وشمالها، طوَّر المزارعون أنواعًا جديدة من الحبوب، وفي مناطق الغابات، تبنى المزارعون تقنية الزراعة المتحركة، أو زراعة القطع والحرق، وهي نوع من الزراعة الجوّالة. كان المزارعون يحرقون الأشجار ويقطعونها، ثم يزرعون التربة المحترقة بين جذور الأشجار. وبعد بضعة أعوام، حين تفقد التربة خصوبتها، كانوا ينتقلون إلى مكان آخر. وفي وادي السند، ازدهرت الزراعة منذ أربعة آلاف عام مضت، على امتداد نهري السند والغانج وفي أجزاء أخرى من شبه القارّة الهندية، وفي أفريقيا، ازدهر رعي الماشية في الصحراء الكبرى (التي كانت أكثر رطوبة وإنتاجية مما هي عليه اليوم) منذ خمسة آلاف عام وربما قبل ذلك. وبحلول ثلاثة آلاف عام مضت، كانت الزراعة مترسّخة في غرب أفريقيا، ومن هناك، انتشرت الزراعة إلى وسط أفريقيا وجنوبها. وفي الأمريكتين، أيضًا، تعيّن على المزارعين التكيّف مع الظروف الجديدة، فمثلًا تطوّرت أنواع جديدة من الذُّرة في أمريكا الوسطى وعلى امتداد نهر الميسيسيبي.

ومع زيادة أعداد المجتمعات الزراعية، تسارعت وتيرة التغيير، وذلك لأن الزراعة، علاوة على التغييرات العديدة التي أحدثتها، انتشرت أسرع من نشاط الصيد والجمع. إن الزيادة السريعة للزراعة ليست بالأمر البديهي، لأن الزراعة من الممكن أن تكون شاقّة أحيانًا، ولهذا السبب ظل الصيادون وجامعو الطعام باقين، إلى جوار المزارعين عادة، لآلاف عدة من الأعوام. وفي بعض المناطق، مثل سيبيريا وأستراليا، كانت عيوب الزراعة تفوق مميزاتها، وازدهرت مجتمعات الصيد والجمع حتى الأزمنة الحديثة. ومع ذلك، ففي المناطق الملائمة للزراعة، أو المناطق التي أمكن جعلها ملائمة للزراعة، أو المناطق التي ضغط فيها النمو السكاني بقوّة على الموارد المتاحة، كان للمجتمعات الزراعية مميّزات عديدة على مجتمعات الصيد والجمع المجاورة لها. وحتى الزراعة بالقطع والحرق كانت تستطيع إعالة عدد يتراوح بين عشرين وثلاثين شخصًا لكل كيلومتر مربع. وكان هذا يعادل نحو مائة مرّة مقدار الكثافة السكانية التقليدية في بيئات الصيد والجمع المشابهة. وحين يجدُّ الجدُّ، كان هذا يعني أن المجتمعات الزراعية بمقدورها في المعتاد حشد المزيد من الأشخاص والموارد مقارنة بمجتمعات الصيد والجمع. فقد كان بوسعهم التفوق عليهم ديموغرافيًّا وكذلك، إذا لزم الأمر، هزيمتهم عسكريًّا. ولهذا السبب، منذ زمن مبكر يعود إلى خمسة آلاف عام مضت، اعتمد أغلب البشر على الزراعة، وبدأت المجتمعات الزراعية والأشخاص الذين تدعمهم هذه المجتمعات في الهيمنة على
التاريخ الإنساني.

بينما انتشر المزارعون، فإنهم غيّروا وجه البيئة المحيطة بهم. وفي كل مكان، قطع المزارعون الأشجار، وشيّدوا القرى، وحرثوا الأرض، وطردوا الهوام، واقتلعوا الحشائش الضارّة. إن الزراعة تتطلّب بطبيعتها التحلّي بتوجّه استغلالي نحو البيئة. فبينما رأى الصيادون وجامعو الطعام أنفسهم في المعتاد كجزء لا يتجزّأ من الغلاف الحيوي، رأى المزارعون البيئة كشيء يتعيّن إدارته، ورعايته، واستغلاله، وتحسينه، بل وقهره. وبينما منح التعلّم الجمعي المزارعين المعرفة التي كانوا يحتاجونها لاستغلال بيئاتهم، فقد منحتهم الزراعة الطعام وتدفّقات الطاقة التي يحتاجونها من أجل زيادة وتغيير البيئة المحيطة عبر مساحات أكبر وأكبر وبقوّة وبراعة متزايدتين.

التعلّم الجمعي وتدفّقات الطاقة الجديدة؛ كانت هاتان هما القوتين الكامنتين خلف الديناميكية المضطربة للحقبة الزراعية، وتفسّران القدرة المزلزلة على التغيير التي لم يُرَ مثلها في العصر الحجري.

كيف غيّرت الزراعة التاريخ الإنساني

على مدار خمسة آلاف عام بعد نهاية العصر الجليدي الأخير، مثّلت القرى الزراعية الملمح المهيمن على الحقبة الزراعية من التاريخ الإنساني. كانت هذه القرى بمنزلة المدن الكبرى في عصرها، وكانت أكثر المجتمعات تعقيدًا وقوة وازدحامًا بالسكان على الأرض. ومع انتشار الزراعة وزيادة عدد السكان، زاد عدد القرى إلى أن صارت هي المجتمعات التي يعيش فيها غالبية البشر. وإذا حدث أن عشتَ في الحقبة الزراعية، فعلى الأرجح ستكون مزارعًا أو تعيش في مجتمع من المزارعين.

شكّلت هذه المجتمعات الكثيفة ظاهرة جديدة في التاريخ الإنساني. ربما بدت القرى الزراعية بسيطة بالمعايير الحديثة، لكن بمعايير العصر الحجري كانت كيانات اجتماعية وسياسية وثقافية شديدة الضخامة. وهي لم تتطلّب فقط وجود تكنولوجيات حديثة، وإنما تطلّبت كذلك وجود قواعد اجتماعية وأخلاقية جديدة، وأفكار جديدة بشأن كيفية العيش معًا، وكيفية تجنّب الصراعات، وكيفية اقتسام ثروات المجتمع. وإذا كان روبن دنبار، الأنثروبولوجي البريطاني واختصاصي علم النفس التطوّري، محقًّا بشأن تهيئة التطوّر للأدمغة البشرية بحيث تتكيّف مع الجماعات التي يزيد عددها على ١٥٠ فردًا، فيتبع ذلك أن المجتمعات التي تزيد في الحجم كثيرًا عن ذلك احتاجت إلى تكنولوجيات اجتماعية جديدة كي تبقى متماسكة معًا.

خلال النصف الأول من الحقبة الزراعية في التاريخ الإنساني، كانت أغلب القرى الزراعية عبارة عن مجتمعات مستقلة لا تربطها إلا صلات محدودة بالقرى المجاورة لها، وكانت صغيرة بما يكفي للحفاظ على قواعد صلات القُربى التقليدية. ورغم أن تبادل البشر والبضائع والأفكار بين القرى كان مهمًّا على نحو متزايد، فإنه لم يكن ثمة وجود بعد للدول أو الإمبراطوريات أو المدن أو الجيوش. فالمجتمعات الضخمة المعقّدة التي هيمنت على الخمسة آلاف عام الأخيرة من التاريخ الإنساني لم تظهر إلا بعد انتشار الزراعة على نطاق عريض وبسرعة

شديدة أتاحت خلق كتلة حرجة من البشر والموارد والتكنولوجيات الجديدة. غير أن جذور الحضارات الزراعية يمكن العثور عليها في مجتمعات القرى التي ازدهرت في بدايات الحقبة الزراعية.

رأينا من قبل أن مجتمعات الصيد والجمع احتوت على مستودعات من المعارف الكامنة متعددة الأنواع، ومنها معلومات عن كيفية إدارة مجموعات كبيرة من البشر. فقد كانت إمكانية زيادة التعقيد الاجتماعي، وإقامة شبكات سياسية واقتصادية وعسكرية واسعة النطاق، وتشييد الأبنية الضخمة التي نراها في كل الحضارات الزراعية، كانت هذه الإمكانية موجودة بالفعل في مجتمعات الصيد والجمع والمجتمعات الزراعية المبكرة.

يعدّ موقع جوبيكلي تيبي في جنوب الأناضول نموذجًا رائعًا على القدرة الفكرية والتكنولوجية الكامنة داخل مجتمعات الصيد والجمع والمجتمعات الزراعية المبكرة. شُغل الموقع للمرة الأولى خلال حقبة القرى النطوفية، وبعد ذلك بصورة دورية خلال الفترة الممتدة بين اثني عشر ألفًا وتسعة آلاف عام مضت. ويضم الموقع عشرين دائرة حجرية ونحو مائتي عمود حجري مزينة بنقوش جميلة، يصل ارتفاع بعضها إلى خمسة أمتار ويصل وزنها إلى عشرين طنًا. وتوجد على كثير من الأعمدة نقوش قليلة البروز لحيوانات ذات مخالب أو طيور ذات مناقير. لا توجد مبانٍ محلّية، ومن المثير للعجب أن الكثير من الأعمدة كانت مدفونة بصورة طقسية. وقد وجد الأثريون إشارات على القيام بعملية تخمير للجعّة في الموقع، وهذا أيضًا قد يشير إلى وجود أنشطة طقسية (أو صور من العربدة). ويشير كل هذا إلى أن جوبيكلي تيبي، شأنه شأن ستونهنج في إنجلترا أو أخدود تشاكو في نيومكسيكو، كان مركزًا للطقوس للمجتمعات المحيطة، وهي صورة مبكرة مكافئة، ربما، للألعاب الأولمبية أو الأمم المتحدة. وربما استُخدم الموقع كذلك كمرصد. فالجهود الهائلة المبذولة في بناء الدوائر الحجرية في الموقع تشير إلى أهمية الروابط الدبلوماسية والتكنولوجية بين المجتمعات المختلفة في حقبة من الزيادة السكانية المتسارعة. ويشير أحجام الأعمدة، ودقة النقوش وجمالها، وحقيقة أن مئات الأشخاص من المؤكد أنهم وُظِّفوا في نحت ونقل الكتل الحجرية الكبيرة، كل هذا يشير إلى مستوى جديد من تعقيد التنظيم الاجتماعي. وهذا أمر مثير للدهشة لأن من المرجح أن أولئك الذين شيّدوا أولى هذه البنى لم يكونوا مزارعين

حقيقيين بعد، وإنما كانوا صيادين وجامعي طعام مقيمين أو يعيشون حياة الوفرة، مثل النطوفيين.

تعرّضت قواعد علاقات القُربى لتحدّيات حين صارت القُرى وشبكات القُرى أكبر وأكبر. وبينما توسّعت القرى الزراعية المبكرة، وأنشأت روابط جديدة مع جاراتها، وتحوّلت أحيانًا إلى بلدات صغيرة، وجب تغيير قواعد علاقات القُربى والعائلة التقليدية أو الاستعاضة عنها بقواعد جديدة هي قواعد المِلكية والطبقات الاجتماعية والسلطة. فقد تعيّن ربط الوحدات الاجتماعية التقليدية المكوَّنة من مائة أو مائتي شخص بشبكات أكبر كانت هرمية بصورة حتمية. وفي كل مكان، ومع انتشار الزراعة، نبدأ في رؤية بِنى جديدة هرمية تكسو المجتمعات القروية التي تنظّمها علاقات القُربى التقليدية.

تتمثل إحدى طرق تتبّع العلاقات والطبقات داخل أي قرية مكوَنة من ألف شخص في استخدام قواعد علاقات القربى التقليدية لكن مع النظر إليها من منظور زمني سابق. وإليك بالكيفية التي ربما سار عليها الأمر: إذا كان والداك، وجدودك، وجدود جدودك كلهم منحدرين من الأبناء البكر في كل جيل، حينها يمكنك المطالبة بمكانة الطفل البكر العالية لنفسك ولعائلتك كلّها. وقد كانت آليات كهذه هي ما أتاح إكساب عائلات وسلاسل نَسب كاملة علو المكانة والأقدمية. وهنا نرى بدايات الطبقات والطوائف الاجتماعية. غير أن الموهبة كان لها أهميتها كذلك؛ فبينما عاش البشر على مقربة من بعضهم معًا في قرى كبيرة، ازدادت النزاعات حول حقوق ملكية الأراضي أو المواريث أو الاعتداءات أو اتلاف الممتلكات، على نحو يشبه التصادمات التي وقعت بين البروتونات داخل كتل المادة المنكمشة التي تكونت منها النجوم الأولى. غير أن تسوية النزاعات في القرية الكبيرة كانت تختلف كثيرًا عن تسوية الخلافات العائلية. واحتاج الوسطاء أو القضاة إلى التحلّي بالحصافة والمراعاة والذكاء والخبرة. وفي بعض الأحيان كان عليهم أن يفرضوا إرادتهم بالقوة.

وتبيّن الدراسات الحديثة لمجتمعات القرى الصغيرة الحجم كيف أن مثل هذه المشكلات من الممكن أن تؤدّي إلى تطور صور بسيطة من القيادة، إذ يُمنَح الأشخاص المعروفون بكونهم كرماء أو نشطاء، أو عارفين بالتقاليد والأعراف، أو متدينين، أو ذوي بأس في العراك، يُمنَح هؤلاء درجة معقولة من السلطة على بقية أبناء القرية. وإذا تمتّعوا بالحنكة السياسية والاجتماعية، فسيصيرون «رجالًا

كبارًا»، زعماء معروفين بكرمهم وبمهاراتهم القيادية والتنظيمية. وقد وضعت الطبقات المبنية على النَّسَب أو القدرة أسس الفروق الطبقية. إن الخطوط العامة للقوة الإمبراطورية كانت موجودة بالفعل في احتفالات القرى القديمة وصراعاتها.

وفي ظلِّ وجود المزيد من الأشخاص، والمزيد من التبادلات، عملت ماكينة التعلّم الجمعي بمزيد من التآزر والقوة. وقد أحدث الكثير من الابتكارات تحسينات تراكمية في عملية الزراعة في مناحٍ مختلفة، وبعض هذه الابتكارات كان جذريًّا بحقّ. ويتمثّل اثنان من أهم الابتكارات في تدجين الحيوانات الكبيرة وظهور الري واسع النطاق.

ربما جرى تدجين الحيوانات في الوقت ذاته الذي دُجِّنَت فيه أولى النباتات. فربما دُجِّنَت الكلاب في مجتمعات الصيد والجمع واستُخدِمَت في المساعدة في عملية الصيد، والحراسة، بل وحتى من أجل منح البشر الدفء خلال الشتاء. لكن في بادئ الأمر كانت عملية تدجين الحيوانات لا تتّسم بالكفاءة؛ فكان يجري الاحتفاظ بالحيوانات في حظائر وتغذيتها، وذلك بتكلفة فادحة، حتى يحين وقت ذبحها من أجل لحومها وجلودها وعظامها وأوتارها. ومنذ ستة أو سبعة آلاف عام مضت، وخاصّة في المناطق ذات المساحات الشاسعة من العشب القادر على تغذية قطعان كبيرة من الماشية، طوّر المزارعون والرعاة طرقًا لاستغلال الحيوانات المدجّنة قبل قتلها. فقد بدأوا في حلب الأبقار والفرس والماعز والشياه، وجزُّوا صوف الماعز والأغنام، وامتطوا الخيول أو استخدموها في جر العربات. وقد وصف العالم الأثري أندرو شيرات هذه التقنيات الجديدة بأنها «ثورة المنتجات الثانوية»، لأن البشر تعلّموا استخدام كلٍّ من المنتجات الأساسية للحيوانات المُدجَّنة (الموارد التي توفّرها عند قتلها) علاوة على منتجاتها الثانوية (الطاقة والموارد التي يمكن أن تقدّمها وهي حيّة). وحتى الأزمنة الحديثة، كانت هذه التكنولوجيات الفعّالة مقتصرة على منطقة العالم الأفرو-أوراسية لأنه في الأمريكتين تسبّب قتل العديد من أنواع الحيوانات الضخمة في ترك عدد قليل للغاية منها بحيث تعذَّر تدجينها. لكن في بعض مناطق المنطقة الأفرو-أوراسية، مثل آسيا الوسطى والشرق الأوسط وشمال أفريقيا، كانت مكاسب الإنتاجية المتحقّقة من المنتجات الثانوية عظيمة للغاية إلى درجة أن ثمة مجتمعات كاملة بدأت تعيش على الماشية، وتتبّعتها من أرض عشبية إلى أخرى، وتعيش في خيام، وبذا عادت إلى نمط حياة الترحال. نطلق على هؤلاء اسم البدو الرعاة. وهذه القدرة على الحركة جعلت من البدو

الرعاة حلقة اتصال مثالية بين مناطق بعيدة، وفي النهاية حملوا الأفكار والتكنولوجيات والبشر والبضائع، بل وحتى الأمراض، عبر المنطقة الأفرو-أوراسية عبر الطرق المسماة «طرق الحرير».

أحدث الري واسع النطاق تغيّرات جذرية بالمثل. ففي منطقة ما بين النهرين، دفعت الضغوط السكانية المزيد والمزيد من المزارعين إلى الانتقال من أراضي الهلال الخصيب المرتفعة المروية جيّدًا إلى الأراضي الجنوبية القاحلة في قلب العراق حاليًّا، والتي يجري عبرها اثنان من أنهار المنطقة الكبرى، دجلة والفرات. كانت الأمطار شحيحة في هذه المنطقة إلى درجة أنك إذا أردت أن تزرع، فعليك أن تحوِّل المياه من النهرين. في البداية، استخدم المزارعون خنادق بسيطة حفروها بأيديهم، لكن في النهاية، تعاونت مجتمعات كاملة في بناء وصيانة منظومة معقّدة من القنوات والحواجز. وقد تطلّبت كبرى هذه المنظومات آلافًا من العمال وقدرًا كبيرًا من القيادة والتنسيق، غير أن العائد كان ضخمًا في منطقة تنعم تربتها بثراء وافر نتيجة آلاف الأعوام من فيضان الأنهار. وقد تقدّمت الزراعة بسرعة في المناطق الملائمة للري، بما في ذلك شمال الهند والصين وجنوب آسيا، وفي النهاية بعض مناطق الأمريكتين. اعتمدت أعداد كبيرة من السكان على الزراعة بالري، وتطلّب هذا النوع من الزراعة تعاونًا اجتماعيًّا متزايدًا، وبذا أدى إلى ربط قرى المزارعين معًا في شبكات اجتماعية وسياسية أكبر.

ازداد عدد السكان بسرعة مع تحسن طرق الزراعة وانتشارها. فقد احتاج البشر إلى ما لا يقلّ عن مائة ألف عام كي يصل عددهم إلى خمسة ملايين، وذلك في نهاية العصر الجليدي الأخير. لكن بحلول خمسة آلاف عام مضت، تضاعف عدد البشر أربع مرات، فوصل إلى عشرين مليونًا. ومنذ ألفي عام مضت، كان هناك مائتا مليون إنسان، أي ما يعادل أربعين مرة قدر عدد البشر عند نهاية آخر العصور الجليدية.

غير أن النموّ السكّاني لم يكن ثابتًا على الإطلاق. فقد كانت الكوارث تقاطعه في كل مكان. شاعت الأمراض والمجاعات والحروب والموت -فرسان سِفْر الرؤيا الأربعة- خلال الحقبة الزراعية. وكما ذكرنا من قبل، فخلافًا للمعسكرات البدوية، كانت القرى تراكم المخلّفات وتجتذب الهوام، ولذا انتشرت الأمراض سريعًا. وفي الأماكن التي كانت الأمراض تنتشر فيها -عدوى لم يكن لدى الناس مناعة منها، كالجدري- لم يكن من المستغرب أن يهلك نصف عدد السكان. كما كان المزارعون

أكثر عرضة للمجاعات من الصيادين وجامعي الطعام، لأنهم كانوا يعتمدون على محاصيل قليلة العدد للغاية. وحين كان الطعام ينفد، لم يكن باستطاعة الحشائش وجوزات البلوط ولحاء الأشجار أن يطعم إلا عددًا محدودًا لفترة طويلة، وكان صغار السنّ والمسنين هم أكثر من يعانون وكانوا يموتون أولًا. ومع نمو عدد السكان، تقاتلت القرى على الأراضي والماء وغير ذلك من الموارد، وقد استدعت معاركهم فارس الهلاك الثالث، الحرب، الذي كان أكثر فتكًا من الأمراض والمجاعات وكثيرًا ما عمل بالتوازي معها. لطالما تقاتل البشر، لكن في المجتمعات الزراعية كان عدد أكبر من الناس ينخرط في القتال، وكانت الأسلحة أكثر فتكًا بينما اكتسب المقاتلون الحراب ذات الرؤوس المعدنية والعربات وأدوات الحصار. وسريعًا ما تبع فارس الهلاك الرابع، الموت، الفرسان الثلاثة الأخرى.

على أية حال، لقد دخل التاريخ الإنساني حقبة أكثر ديناميكية كان فيها التغيير هو العنصر الثابت الوحيد. وبينما زادت المجتمعات البشرية من حيث العدد والحجم والتعقيد، فإنها وضعت أسس الحضارات الزراعية التي هيمنت على الخمسة آلاف عام الماضية من التاريخ الإنساني.

الفصل التاسع : الحضارات الزراعيّة

في تلك الأيام امتلأت منازل أكاد بالذهب،
وامتلأت منازلها اللامعة بالفضة،
وإلى مخازنها جُلب النحاس والقصدير وألواح اللازورد، وانتفخت صوامعها...
كانت أرصفة موانئها ترسو عليها المراكب صاخبة...
وجدرانها تنتصب نحو السماء كالجبال...
والبوابات، مثل الفرات الذي يفرغ ماءه في البحر،
فتح إينانا المقدس أبوابها.
قصيدة سومرية، ترجمها إس إن كرامر

شكّلت القرى الزراعية وسكّانها غالبية الموارد البشرية والمادّية للحضارات الزراعية التي هيمنت على الخمسة آلاف عام الأخيرة من التاريخ الإنساني. وإذا نظرت إلى ما وراء الجيوش والمدن الإمبراطورية، والمعابد والأهرامات، والقوافل التجارية وأساطيل الشحن، والآداب والفنون، وفلسفات الحضارات الزراعية ودياناتها فستجد، في الخلفية وعلى مبعدة عادة من المناطق الوسطى، آلاف من المجتمعات الزراعية، علاوة على قطاعٍ سكّانيٍّ كبيرٍ وفقيرٍ من المشرّدين والمحرومين، وكثيرون منهم كانوا عبيدًا. لقد أنتج أبناء هذه الطبقات الدنيا معظم الحبوب واللحوم، وكثيرًا من الكتان والحرير، وكثيرًا من العمالة (الحرّة وغير الحرّة) المطلوبة في المدن العظيمة. إن إنتاج هذه الطبقات وعملها هو ما دفع ثمن الطرق المعبدة والقصور والمعابد والحرير والنبيذ والحُلي التي يتزيَّن بها الأثرياء، بينما خدم رجالها وخيولها في الجيوش. لقد حشدت الحضارات الزراعية الثروة البشرية والمادّية والطاقة التي أنتجتها القرى الزراعية من أجل إنشاء بِنى اجتماعية أكثر بهاءً وتعقيدًا من أي مجتمعات بشرية سابقة عليها. وشأن كل الكائنات الحية، فقد حشدت المعلومات كذلك، لأن وجود المزيد من المعلومات منحها السبيل إلى الحصول على المزيد من الطاقة والمزيد من الموارد.

يمثّل ظهور الحضارات الزراعية محطّة أخرى نحو التعقيد المتزايد. ومع ذلك فقد بُنيَت الحضارات الزراعية على الأسس التي أوجدها تطور المجتمعات الزراعية عبر آلاف الأعوام، ومن ثم فسنتعامل مع ظهورها لا بوصفه محطّة جديدة بالكامل وإنما باعتباره مرحلة ثانية في المحطة الأساسية التي منحتنا الزراعة.

ومن أجل فهم ظهور الحضارات الزراعية، لن نركّز على تواريخ حضارات بعينها وإنما على الأسئلة التي طرحناها على مرّ قصّة الأصل الحديثة الخاصّة بنا: ما هي الظروف المثالية لظهور صورة جديدة من التعقيد؟ وما هي الخصائص الجديدة البازغة للحضارات الزراعية؟ وماذا كانت تدفّقات الطاقة التي دعمت هذه الخصائص الجديدة؟

الفائض والطبقات الهرمية وتقسيم العمل

رغم المجاعات والأمراض والحروب، زاد عدد القرى الزراعية وانتشرت خلال عصر الهولوسين لأنها في معظم السنوات كانت تنتج أكثر مما تحتاجه، فقد حوّلت طاقة ضوء الشمس إلى ثروة فائضة، وهذا يختلف كثيرًا عن حال مجتمعات الصيد والجمع، التي كانت تخزِّن المعارف لكنها نادرًا ما شعرت بالحاجة إلى تخزين الأغراض الفائضة، لأن الطعام والموادَّ الخامَّ التي احتاجوها كانت موجودة حولهم. لماذا أعمل كمزارع، هكذا تساءل أفراد مجتمع الصيد والجمع الحديث في صحراء كالاهاري، بينما يوجد العديد من ثمار المانجونجو المتاحة للأكل؟ في مجتمعات الصيد والجمع، شجّع التراكم البطيء للمعرفة على الهجرة إلى بيئات جديدة بدلًا من مراكمة الأغراض المادية. وعلى العكس من ذلك، تعيّن على المجتمعات الزراعية تخزين الأغراض، بكميات كبيرة، لأن العديد من النباتات كانت تُحصَد في أسابيع قليلة لكن يتمّ تناولها أو معالجتها على مدار عام أو أكثر. ولهذا كانت كل المجتمعات الزراعية فيها منازل، ومخازن حبوب، وحظائر للحيوانات، وحقول مليئة بالغلة التي تنتظر استهلاكها.

ومع زيادة الإنتاجية، بدأت الفوائض تفوق الاحتياجات السنوية لأولئك الذين ينتجونها. وقد مثّل الفائض في البشر، والفائض في الطعام، والفائض في السلع، والفائض في الطاقة صورًا جديدة من الثروة، وهو ما أدّى إلى إثارة السؤال: من سيتحكّم في الثروة (ويتمتّع بها)؟ ومع الوقت، اكتنزت أقليات صغيرة، لكن قوية، فائضَ الثروة، وكانت البِنى التي شيّدوها من أجل اكتناز الثروة الفائضة، عادة باستخدام صورٍ فجّةٍ من القسر، بمنزلة عضلات الحضارات الزراعية وأوتارها.

كان وجود فائض في الثروة يعني وجود فائض في البشر. ومع ارتفاع الإنتاجية، لم يعد الجميع بحاجة إلى العمل بالزراعة، وبذا ظهرت أدوار اجتماعية جديدة. صار كثيرون من البشر مشرَّدين أو عبيدًا، لكن انتهى الحال بعدد من غير

المزارعين بالسيطرة على الكثير من ثروة المجتمع الفائضة لأنهم استطاعوا التخصّص في أدوار اجتماعية مفيدة. فقد صار هؤلاء يعملون في مهن طيلة وقتهم، كهنة أو خزّافين أو جنودًا أو فلاسفة أو حكّامًا. وقد صار المتخصّصون خبراءً في أدوارهم المحدودة. غير أن تقسيم العمل أوجد كذلك صورًا جديدة من التبعية. فمع زيادة عدد الأدوار الاجتماعية صارت المجتمعات البشرية، كالكائنات عديدة الخلايا، أكثر اتصالًا وأكثر تمايزًا وأكثر اعتمادًا على بعضها وأكثر تعقيدًا. كما ظهرت بِنى رابطة جديدة، هي المكافئ الاجتماعي للهياكل العظمية والعضلات والأجهزة العصبية.

كان المتخصّصون في العموم أكثر اعتمادًا على البنى الرابطة من المزارعين، الذين كان في مقدورهم عادة إطعام أنفسهم. بإمكان الأثريين تتبّع تطوّر تقسيم العمل، ففي منطقة ما بين النهرين تعدّ صناعة الآنية الفخارية مثالًا نموذجيًّا على ذلك. فلقد كانت أولى الآنية الفخارية في هذه المنطقة بسيطة ومتفرّدة، وكانت تُصنَع عادة داخل منازل المزارعين العادية. لكن منذ نحو ستة آلاف عام مضت، نجد ورشًا متخصّصة فيها عجلات للخزافين. أنتج الخزافون كميات كبيرة من الآنية المتماثلة والأطباق والأكواب وباعوها عبر مساحات شاسعة، وكانت هذه الأغراض تبدو أشبه بعمل محترفين يعملون في مهنتهم طوال الوقت واستثمروا في معدات خاصة وخضعوا للتدريب لفترات طويلة. وقد شجّع التخصّص على ظهور مهارات وأساليب جديدة، وهذا كان مقياسًا للتغيّر التكنولوجي ومحركًا له في الوقت عينه. على سبيل المثال، كان الخزافون بحاجة إلى أفران كي يحرقوا آنيتهم الفخارية، ومع الوقت شيدوا أفرانًا أكثر كفاءة تعمل على درجات حرارة أعلى وتصقل الفخار بشكل أفضل. غير أن الأفران الأفضل كانت هي المطلوب تمامًا لفصل النحاس أو القصدير أو الحديد عن الركائز الخام التي كانت مختلطة بها، وذلك حتى يكون بالإمكان تشكيل المعادن أو ثنيها أو طَرْقها لصنع أغراض منزلية وحلي وأسلحة. لقد استخدم النحّاسون وصانعو المشغولات الذهبية والفضية والحدادون كلهم التكنولوجيات التي كان الخزافون المحترفون أول من دشّنها.

ومع نمو الفوائض، ازداد التخصّص. ومنذ خمسة آلاف عام، في مدينة الوركاء في جنوب منطقة ما بين النهرين، قام أحدهم بوضع قائمة تضم مائة دور خاص مختلف، تمثّل قائمة للحرف المعيارية. من الواضح أن هذه القائمة كانت مهمّة ومعروفة على نطاق واسع، لأنه جرى نَسْخ قوائم مماثلة على يد النسّاخين

المتدربين لقرون عديدة. وتتضمّن هذه القائمة، المرتبة هرميًّا بحسب المكانة، الملوك ورجال البلاط والكهنة وجامعي الضرائب والنسّاخين وصانعي المشغولات الفضية والخزّافين، بل ومؤدّي العروض الترفيهية مثل مروّضي الأفاعي. وعلى العكس من المزارعين، لم يكن الخزّافون ومروضو الأفاعي ينتجون الطعام أو الجلود أو الألياف، ومن ثم فقد كانوا يطعمون ويكسون أنفسهم وأسرهم عن طريق مبادلة منتجاتهم وخدماتهم بالطعام وغيره من الضروريات الأخرى. ولهذا السبب كانت التجارة والأسواق وأدوات العد والحساب كالعملات والكتابة أمورًا ضرورية في المجتمعات المعقّدة وتماثل في الأهمية الشرايين والأوردة في الجسم البشري. لقد جعلت من الممكن نقل الأغراض وتدفقات الطاقة التي تمثلها من شخص إلى آخر، ومن مجموعة إلى أخرى. وحتى المتخصّصون الروحانيون الذين نصفهم بالكهنة كان يتعيّن عليهم مبادلة خدماتهم الروحية بالطعام وغيره من الضروريات الأخرى. وأينما نجد المعابد، فإننا نجد أيضًا التبرّعات والعطايا.

كانت درجة التخصّص تحدّدها إنتاجية الزراعة وعدد الأشخاص الإضافيين الذين يستطيع كل مزارع إطعامهم. ففي غالبية الحضارات الزراعية كان إطعام شخص واحد من غير المزارعين يتطلّب وجود عشرة
مزارعين، ولهذا السبب وجب على غالبية السكان العمل بالزراعة. وحتى في المدن الأولى، كان معظم السكان يزرعون المحاصيل في أفنيتهم الخلفية أو خارج أسوار المدينة. لكن بينما كان المزارعون يشكّلون غالبية السكان وكانوا هم من يوفّرون الموارد للمجتمع، فقد صار المتخصّصون مهمين على نحو متزايد بينما أضحت المجتمعات أكثر اعتمادًا على بعضها بصورة متبادلة. بدأ المزارعون يشترون الحلي البسيطة أو أدوات الزراعة ووجدوا أن عليهم التعامل مع الباعة المتجوّلين وجامعي الضرائب ومالكي الأراضي والمشرفين على العمل. كما نقل عدد من المتخصّصين المختلفين البضائع والموارد بين البلدات والمدن، أو أنتجوا العملات المستخدمة في الأسواق والمحاريث والسيوف المعدنية التي يستخدمها المزارعون والجنود، أو سجّلوا الحسابات، أو نفّذوا القانون، أو تضرّعوا للآلهة نيابة عن الجميع، أو نظّموا الآخرين وحكموهم. لقد وفّر المتخصّصون الدعامات والركائز للحضارات الزراعية، ولهذا السبب، في نهاية المطاف، انتهى بهم الحال بتنظيم بقية أجزاء المجتمع والسيطرة عليها.

ومع زيادة التخصّص، ازداد انعدام المساواة بالمثل. كانت المجتمعات الزراعية المبكرة تعمها المساواة بدرجة كبيرة، حتى حين كانت تتجاوز الحد الأقصى القديم المتراوح بين ١٥٠ و٢٠٠ شخص. ازدهرت بلدة كاتال هويوك (في تركيا المعاصرة) في العصر الحجري الحديث منذ فترة تتراوح بين تسعة وثمانية آلاف عام مضت، ولا يظهر فيها إلا تفاوت بسيط في حجم المنازل المحلية، رغم أن عدد السكان وصل إلى عدة آلاف. لكن في نهاية المطاف نبدأ في رؤية أقلّيات ثرية، ثم المزيد والمزيد منها. وإذا أخذنا مثالًا عشوائيًّا على ذلك، سنجد أن هناك موقع دفن عمره ستة آلاف عام يقع بالقرب من فارنا على البحر الأسود، ويضم أكثر من مائتي مقبرة. دُفن العديد من الموتى ومعهم أغراض بسيطة وحسب أو من دون أغراض على الإطلاق، غير أن نسبة مقدارها نحو ١٠ بالمائة من المقابر فيها ما هو أكثر من ذلك بكثير؛ إذ احتوت على أكثر من ألف غرض، معظمها مصنوع من الذهب، ومنها أساور وبلطات نحاسية بل وحتى غماد للقضيب. هذه صورة مألوفة لمثلث الثروة، إذ تقع نخبة نسبتها ١٠ بالمائة من السكان وشخص واحد على القمة، بينما كان غالبية السكان يعيشون عيشة الكفاف. وحين يعثر الأثريون على أطفال صغار مدفونين ومعهم ثروات عظيمة، فإنهم يكونون متأكّدين من أنه لا توجد ترتيبات هرمية وحسب، وإنما أن هذه الترتيبات الهرمية عابرة للأجيال كذلك، لأن الأطفال ليس بمقدورهم أن يحقّقوا مكانة مرتفعة بأنفسهم. فهذه تعدّ أدلّة على وجود الأرستقراطيات والطبقات الاجتماعية. كما أن مشروعات الأبنية الضخمة، كالقصور والأهرامات والزقورات والمعابد، تخبرنا أيضًا بأن شخصًا ما امتلك سلطة تنظيم عمل كثير من الأشخاص الآخرين.

ومع تعاظم الفروق في السلطة والمميزات، ظهرت الحاجة إلى دعامات اجتماعية جديدة لمساندتها. فقد تعيّن على أحدهم أن ينظّم عمل الأسواق، وأن يعاقب النشّالين واللصوص، وأن يحصي مدفوعات الضرائب، وأن ينظّم المزارعين والمشردين والعبيد في زُمَر عمل تقوم ببناء القصور وصيانة القنوات. كما احتاجت المجتمعات المعقّدة أيضًا إلى متخصّصين دينيين من أجل ضمان أن تقوم الآلهة بحمايتهم من الأمراض وتمدّهم بمياه الأمطار الغزيرة. وحين فشلت هذه البنى، كان الكل يتأثّر، ولهذا ففي أغلب الأوقات حتى أولئك القابعين في أدنى المراتب كانوا يطيعون سادتهم.

درس الأنثروبولوجيون ظهور الطبقات الهرمية في المجتمعات الحديثة صغيرة النطاق، على غرار تلك الموجودة في ميلانيزيا في غربي المحيط الهادئ. وهنا، أسست شخصيات قوية، تُعرَف لدى الأنثروبولوجيين باسم الرجال الكبار أو الزعماء، على الاحترام والدعم الوفي للعائلة والحلفاء والتابعين. غير أن سلطتهم كانت مزعزعة دائمًا، وإذا فشلوا في توزيع ما يكفي من الثروات والمزايا من أجل الحفاظ على ولاء أتباعهم، كان من الممكن على الفور أن يفقدوا سلطتهم وثرواتهم، بل وحياتهم نفسها. فلماذا تتبع شخصًا لا يستطيع إجبارك على شيء ولا تستفيد منه شيئًا؟

وفي نهاية المطاف، ظهر في المجتمعات الأكبر قادة أكثر نفوذًا، وحكموا مئات الآلاف من الأشخاص وسيطروا على تدفقات غنية من الثروة بحيث استطاعوا هم وحلفاؤهم شراء القوة العضلية المطلوبة لفرض إرادتهم بالقوة حين يلزم الأمر. وفي الواقع، صار استخدام القوة من أجل استخلاص العمل أو المحاصيل أو الثروة أمرًا شائعًا في الحضارات الزراعية. ولهذا السبب شاعت العبودية والعمالة القسرية في الحضارات الزراعية. وتبيّن الطرق المستخدمة في استخلاص العمل والثروة من المزارعين أن أحوالهم لم تكن أفضل كثيرًا من أحوال العبيد. ويمنحنا فيلم تسجيلي رائع من مصر، مصنوع في أواخر الألفية الميلادية الثانية، فكرة عن الطرق التي استُخدمَت بصورة معتادة في حمل المزارعين على تسليم مواردهم الفائضة. ويوضح بطل الفيلم، وهو ناسخ، مناقب هذا العمل. فكّر في العمل الشاق الذي يقوم به المزارعون، والساعات الطويلة التي يقضونها في العمل في الحقول في الحر أو البرد، أو يمضونها في رعاية الماشية أو إصلاح المعدّات الزراعية أو الأبنية. ثم تخيّل ما يمكن أن يحدث حين يأتي جامع الضرائب بصحبة حراس مسلّحين.

يقول أحدهم [للمزارع]: «امنحنا الحبوب.» [فيرد] «لا يوجد عندي حبوب.» فيتم ضربه بوحشية، ثم يُقيَّد ويُلقى في البئر، ويُغمَر في مائه برأسه أولًا. تقف زوجته مكبلة إلى جواره، ويقيد أبناؤه بالأغلال، ويهجرهم جيرانهم ويهربون.

بالتأكيد ثمة قدر من المبالغة في الوصف هنا، لكن لدينا أدلة وفيرة على استخدام طرق ابتزازية في جميع الحضارات الزراعية من أجل الحفاظ على النظام وفرض العمل واستخلاص الموارد من غالبية السكان.

عادة ما نشير إلى بِنى السلطة القادرة على ممارسة هذا النوع من السيطرة عبر مساحات شاسعة بكلمة «الدولة». وقد ظهرت الدول في المجتمعات التي كانت كثيفة السكان وثرية بما يكفي بحيث يكون لها بلداتها ومدنها، علاوة على عدد كبير من القرى الزراعية وقدر وفير من فائض العمل الذي يمكن أن يزوّد الجيوش والبيروقراطيات بالبشر والمال.

من البلدات إلى المدن والحكام: الحشد ومستوًى غذائيٌّ جديدٌ

مع زيادة عدد السكان ونمو الفوائض، كبر حجم أكبر المجتمعات البشرية كذلك. وبدأت المجتمعات، شأنها شأن البشر، في التخصّص. فقد نمت بعض القرى واكتسبت أدوارًا جديدة لأنها كانت مجاورة لطرق التجارة، أو كانت تتحكّم في معابر أنهار استراتيجية، أو كانت فيها أسواق تجتذب المشترين والبائعين من القرى الأخرى، أو كانت على مقربة من مواقع دينية مهمّة. كانت بلدة كاتال هويوك في جنوب الأناضول محاطة بأراضٍ زراعية خصبة، لكن كان فيها كذلك السبج، وهو الزجاج البركاني الصلب الذي كان يُستخدَم في صنع أفضل النصال في العصر الحجري الحديث وأكثرها حدّة. ربما تاجر سكانها بالسبج وصولًا إلى منطقة ما بين النهرين. أما أريحا، وهي واحدة من أقدم المواقع المستوطنة بصورة دائمة في أي مكان في العالم، فقد جرى استيطانها للمرة الأولى في زمن النطوفيين، لأنه كان يوجد فيها بئر لا يجف أبدًا. وبحلول تسعة آلاف عام مضت، كانت أريحا قد تطوّرت إلى بلدة يصل عدد سكانها إلى ثلاثة آلاف نسمة.

ومع نمو البلدات، بدأ بعضها يقدّم خدمات ووظائف وبضائع جديدة. انجذب مزيد من الأشخاص إليها، ومع الوقت اكتسبت هذه البلدات السلطة على القرى والبلدات الواقعة في المناطق النائية. وبحلول خمسة آلاف عام مضت، كانت بعض البلدات الكبيرة قد تحوّلت إلى مدن، أي مجتمعات ضخمة متنوّعة تدعمها البلدات والقرى المحيطة ويتركّز فيها المتخصّصون. إن تنوّع المهارات والوظائف والبضائع والبشر الموجودين في المدن يفسّر لماذا صارت هذه المدن بمنزلة المحرّك التكنولوجي والتجاري والسياسي لجميع الحضارات الزراعية، ولماذا اجتذبت الناس من المناطق الريفية المحيطة.

يُعَدّ ظهور المدن والدول علامة على حدوث تحوّل جوهري في المجتمعات البشرية.

كانت الدول التقليدية مختلفة تمامًا عن الدول الحديثة، وأهم هذه الاختلافات هو أنها افتقرت إلى التكنولوجيات والبيروقراطيات التي مكّنت الدول الحديثة من الدخول إلى حياة كلِّ مواطنيها. فقد كان بمقدور الحكام التقليديين فرض هيمنتهم بقوّة على المستوى المحلي، لكن كان من شأن إرسال الأوامر إلى مقاطعة تابعة أن يستغرق أسابيع أو شهورًا، كما يستغرق وقتًا مماثلًا لمعرفة الردّ. ومن ثم، فبعيدًا عن المراكز السكانية الكبيرة، اعتمدت قوة الحكام على شبكات هرمية متقلقلة من السادة المحليين، الذين كانوا يحكمون مناطقهم الخاصّة بوصفها إقطاعيات مستقلّة بشكل ما. ومع ذلك فقد شكّلت الدول الأولى ظاهرة جديدة في تاريخ البشر؛ فجميعها منحت لنفسها حق حشد الثروات الآتية من المجتمعات الزراعية والبلدات والمدن، وذلك

في مقابل توفير درجة ما من الحماية. وعن هذا يقول المنظِّر السياسي الإنجليزي توماس هوبز في كتابه «اللفياثان» (١٦٥١) إن الحق في توزيع الموارد «ينتمي، في كل أنواع الكومنولث، إلى سلطة الدولة. إذ إنه لو لم يوجد كومنولث فستكون هناك... حرب دائمة بين كل رجل وجيرانه». كانت النخب التقليدية تدين بسلطتها، جزئيًّا، إلى الضعف والانعزال الفطريَّيْن للمجتمعات الزراعية التقليدية. وكما قال كارل ماركس فإن الفلاحين لا يتّسمون بالوحدة أكثر مما تتسم بها حبات البطاطس داخل الجوال. وهذا جعلهم عرضة للطغيان؛ لأن حتى الحكّام الضعفاء كان باستطاعتهم استخدام عدد قليل من المنفّذين من أجل فرض إرادتهم، على قرية تلو الأخرى. وهذا التوازن المخلّ بالسلطة يفسّر لماذا نجحت مجموعات صغيرة من الحكام والمسؤولين، على مدار آلاف عدة من الأعوام، في الهيمنة على شريحة سكّانية أكبر كثيرًا تتألف من المزارعين.

يتجلّى تاريخ أولى المدن، وأولى الدول، وأولى الحضارات الزراعية على النحو الأفضل في سومر، جنوب منطقة ما بين النهرين. ففي هذا المكان ظهرت مجموعة كبيرة من المدن بسرعة كبيرة منذ نحو خمسة آلاف وخمسمائة عام مضت. عادة ما توصف مدينة الوركاء في منطقة ما بين النهرين بأنها أولى المدن في التاريخ الإنساني، وكانت المدينة عبارة عن مرفأ على نهر الفرات، وشأن غالبية مدن منطقة ما بين النهرين فقد اعتمدت على منظومات ري معقّدة جيدة الإدارة تغذيها الأنهار الكبرى، غير أنها كانت تحدّ كذلك مستنقعات دلتا النهر الجنوبية. وفي الحقيقة، ربما نمت المدينة في حقبة من المناخ الجاف، وهو ما أجبر سكان القرى

النائية على الهجرة إلى المدن ذات منظومات الري جيّدة الإدارة. ومنذ خمسة آلاف وخمسمائة عام، كان عدد سكان الوركاء يبلغ عشرة آلاف نسمة، وكانوا يعيشون على ضفتين متقابلتين لنهر الفرات، وبعد ذلك بمائتي عام، ربما بلغ عدد السكان خمسين ألفًا وذلك في منطقة تبلغ مساحتها نحو كيلومترين ونصف الكيلومتر المربع. وفي نقطة ما، كان نهر الفرات يغيّر مساره ويبدأ في الدوران حول حافة المدينة.

ربما لا تبدو مدينة عدد سكانها خمسين ألفًا شيئًا مبهرًا بمقاييس اليوم. لكن في وقتها، كانت الوركاء مدينة عظيمة، ربما ضمت أكبر مجتمعٍ مستقرٍّ شهده تاريخ البشرية. كان فيها مُجَمَّعَيْ معابد كبيرين، وهو ما يعني وجود كهنة أو ملوك أقوياء كانوا قادرين على حشد واستغلال عمل آلاف الأشخاص، كثير منهم من العبيد. كانت توجد في الوركاء ورش تصنع أغراضًا ذات جمال خلاب، وكان فيها مستودعات لتخزين الحبوب والسلع الثمينة، وتمنحنا السجلات التي وردتنا بعد ذلك التاريخ ببضع مئات من السنوات فكرةً ما عما يمكنك رؤيته لو أنك زرت الوركاء حين كانت عاصمة الملك جلجامش، بطل أول ملحمة مكتوبة. كانت توجد مجمّعات معابد كبيرة وقصور ملكية، وكنت سترى الحدائق والشوارع الضيّقة والحارات العامرة بالورش والحانات والأضرحة، وكانت المدينة محاطة بسور من الطوب المحروق، والقنوات تُفضي إلى الميناء وإلى الأراضي الزراعية القريبة. وفي ملحمة جلجامش، يقول الملك: «الثلث عبارة عن مدينة، والثلث حديقة، والثلث حقل، مع منطقة الربة عشتار». وقد وجد الأثريون بضائع تحمل طابع مدينة الوركاء في مناطق بعيدة كالأناضول ومصر، وهو ما يشير إلى أن تجار الوركاء كانوا يتاجرون عبر مساحات كبيرة.

في وقت ما منذ نحو خمسة آلاف عام، ظهرت الكتابة الأولى في الوركاء، على ألواح طينية في معابد إيانا. كانت زيادة التعقيد تعني زيادة المعلومات، وكانت الكتابة هي التكنولوجيا الجديدة التي مكّنت الأثرياء وذوي النفوذ من تتبّع الموارد وتدفّقات الطاقة المتزايدة المتاحة تحت تصرّفهم. وتتألف كلّ صور الكتابة المبكرة في منطقة ما بين النهرين من قوائم جرد؛ تضم أعداد الأبقار والأغنام وبالات الكتان والعبيد، وهي تخبرنا أننا صرنا الآن في عالم يسوده انعدام المساواة المتزايد، وتتحكّم فيه شبكات من الحكام والأرستقراطيين والموظفين، في تدفّقات

المعلومات والسلطة التي تمكّنهم من حشد الطاقة والمنتجات الخاصّة بعدد كبير من العبيد والمزارعين والفنانين.

ثمة عمل فني رائع يُعرف باسم «لوحة الحرب والسلام في أور» معروض بصورة مُرمَّمة في المتحف البريطاني، وهو يمنحنا صورة حيّة عن واقع مدن جنوب منطقة ما بين النهرين منذ نحو خمسة آلاف عام. هذه اللوحة تشبه الصندوق وربما كانت جزءًا من آلة موسيقية أو ربما كانت تُحمَل في المواكب، غير أن وظيفتها الأساسية غير معروفة على نحو مؤكّد. توجد على جوانبها صور بالفسيفساء مصنوعة من أصداف مأخوذة من الخليج الفارسي، وحجر اللازورد الأفغاني، والأحجار الحمراء من الهند. ويُظهر أحد جوانب اللوحة مدينة أور في حالة السلام. يجلس شخص في هيئة الملك وعدد من السادة الأثرياء في مأدبة ويغنّي لهم عازف يحمل قيثارة. الملك والنبلاء أكبر حجمًا من الخدم، وهو تقليد فنّي يوضح مكانتهم وأهميتهم. وتظهر الألواح السفلى البضائع والماشية التي تُجلَب إلى المدينة، ربما من أجل المأدبة. إن الفوائض التي ينتجها المزارعون يجري ضخُّها إلى الأعلى كي تستهلكها جماعات النخبة. ويظهر الجانب الآخر للوحة مدينة أور في حالة الحرب حيث بعض القوات التي تحافظ على هذه التدرّجات الهرمية للثروة والسلطة. في الأعلى يوجد شخص أكبر من الجميع، وهو الملك بالتأكيد، أما في الأسفل فنرى الجنود، الذين يلبسون زيًّا رسميًّا، والقادة العسكريين الذين يركبون عربات تجرّها الحمير. يظهر البعض وهم يطأون جنود العدو بأقدامهم، بينما يجر البعض الآخر أسرى عرايا تظهر عليهم الجروح واضحة.

تمثّل مدن جنوب منطقة ما بين النهرين منذ خمسة آلاف عام نوعية المجتمعات التي ستهيمن على التاريخ آلاف الأعوام التالية. فقد مكّنت الجيوش المكلفة وجيدة التجهيز الحُكامَ والنخب التي تدعمهم من صد الجيوش الأجنبية والحفاظ على فوارق السلطة والثروة التي اعتمدت عليها سلطاتهم وثرواتهم. ومثل مضخة البروتونات التي تحافظ على تدرجات الطاقة عبر غلاف الخلية، فقد حافظ الجنود والحاشية المسلحة من النبلاء على تدرّجات من الإقناع والقسر ضخت الثروة من القرى إلى البلدات والمدن والحكومات. وتظهر صور هذه التدرّجات الهرمية للسلطة، مع الملوك ذوي الملابس الخلّابة والسادة الذين يخيفون الأعداء والرعايا، تظهر في كل الحضارات الزراعية.

من المنظور الإيكولوجي، تمثل الدول وحكامها حلقة جديدة في السلسلة الغذائية، مستوى غذائي جديد. رأينا كيف أن الطاقة الآتية من ضوء الشمس تدخل الغلاف الحيوي عبر التمثيل الضوئي وتنتقل من النباتات إلى الحيوانات العاشبة ثم اللاحمة. كما رأينا كيف أن غالبية الطاقة تُهدَر في كل مستوى غذائي، كصورة من ضريبة الهدر. يترك هذا قدرًا أقل بكثير من الطاقة لدعم المستويات الأعلى، ولهذا السبب نجد أن عدد الأسود يقلّ كثيرًا عن عدد الغزلان. زادت الزراعة من الموارد المتاحة للبشر، وبذا استطاعت الدول أن تضيف مستوًى غذائيًّا جديدًا فوق قمة الهرم. بدأ الحكام والنبلاء والمسؤولون في اعتصار الثروات من عمل الفلاحين وإنتاجهم، والذين كانوا يحصلون بدورهم على الطاقة والغذاء من الزراعة، وقد استخدمت الدول هذه التدفّقات الجديدة من العمل والمنتجات والطاقة في دفع تكاليف الجيوش والنظم البيروقراطية والقصور والبضائع التي كانت تجعلها ذات نفوذ وثراء.

ويذكّرنا التفكير في مثل هذه العمليات من المنظور الإيكولوجي بأن الثروة لا تتكوّن في حقيقة الأمر مطلقًا من الأشياء المادية؛ بل تتكوّن من السيطرة على تدفقات الطاقة التي تصنع الأشياء وتنقلها وتستخرجها وتغيّرها. فالثروة نوع من ضوء الشمس المضغوط، تمامًا مثلما تعد المادة طاقة متجمعة. وقد صار استخلاص هذه الطاقة المضغوطة من بقية السكان، علاوة على تدفّقات الموارد التي جعلتها ممكنة، هو المهمّة الجوهرية للحكّام والحكومات، وتلك المهمّة من شأنها أن تشكّل كلّ أوجه تطوّر الحضارات الزراعية وتاريخها.

وفي الواقع، لعبت عملية الحشد دورًا مركزيًّا في الدول التقليدية أكثر من الدول الحديثة. فالحكام التقليديون لم يكونوا بحاجة إلى شغل أنفسهم كثيرًا بأمور التعليم أو الصحة أو الحياة اليومية لغالبية رعاياهم وذلك لأن الفلاحين كانوا يستطيعون عمومًا إعالة أنفسهم. وفي الحقيقة، واصل كثيرون من الفلاحين العيش في قرى مستقلّة بعيدًا عن سلطة الدول والإمبراطوريات، ولذا حيثما هيمنت الدول على الفلاحين، كانت مهمتها الأساسية هي استخلاص الموارد منهم. ومع الوقت، صار الحكّام والمسؤولون والنبلاء بارعين على نحو متزايد في هذه المهمة. وإذا احتاجوا مزيدًا من الموارد لبناء القصور أو الطرق أو تجنيد فيالق من الجنود أو دفع ثمن بضائعهم الفاخرة، كانت قلّة قليلة من الحكّام التقليديين تختار الاستراتيجية الحديثة المتمثّلة في الاستثمار في الابتكارات التي تزيد الإنتاجية. كانوا محافظين من

الناحية التكنولوجية لأن التغيير كان بطيئًا إلى درجة أن الابتكارات كانت تعطي بالكاد أي عوائد في خلال حياة الفرد وكثيرًا ما كانت تخلّ بتدفّقات الطاقة الحالية. ربما يستثمر الحكام في أسلحة جديدة أو يشيدون الطرق، لكن في غالب الأحيان كان التحدّي يتمثّل في زيادة الموارد المتاحة في ظلّ التكنولوجيات القائمة بالفعل وذلك عبر الصور التقليدية للحشد.

كي يزيد الحكام التقليديون من ثروتهم وسلطتهم، كان أمامهم ثلاثة خيارات. كان أكثرهم حصافة يشجّع الفلاحين على حراثة المزيد من الأراضي غير المزروعة بعد ويحثّ التجار على البحث عن سلع جديدة. غير أن كثيرًا من الحكّام سعى وراء المكاسب الأسرع عن طريق استخدام الاستراتيجيتين الأخريين الأكثر خطورة وقسرًا. فقد كان بإمكانهم الضغط بقوّة أكبر على الرعايا، وكان الخطر في ذلك يتمثّل في التمرد الشعبي أو الانهيار الاقتصادي. أو كان بوسعهم المقامرة بنهب ثروات الدول المجاورة عن طريق إرسال الجيوش. كان هذا الأمر خطيرًا، لكنه نجح في أحيان كثيرة، ولهذا السبب كانت غالبية النخب التقليدية مولعة بالحرب. وهو يفسر كذلك لماذا حين تُصنَع التماثيل للحُكام تكريمًا لهم، فإنهم يُصوَّرون وهم يرتدون الدروع ويحملون الأسلحة. فعلى أيّ حال كان هذا عالمًا تُحشَد فيه الموارد بالأساس عبر التهديد بالقوة وكانت فيه القدرة على الحشد وممارسة العنف محل إعجاب عريض. فإذا كنتَ ملكًا، كان الاستيلاء على الموارد من جيرانك أحد أهم سبل تنمية اقتصادك، وإذا نجحت في هذا (فكّر في الإسكندر الأكبر كمثال)، فستكون على الأرجح محلّ إعجاب، بصرف النظر عن مقدار التعاسة الذي سببته.

يظهر الدور المحوري لعملية الحشد في الأدلة الإرشادية المتعلّقة بفن الحُكم وإدارة الدولة والتي وضعها العديد من الحُكام التقليديين. أحد أكثر الأمثلة ثراءً هو الدليل الهندي لفن الحُكم والمعروف باسم الأرثاشاسترا. كُتبَت هذه الوثيقة على الأرجح منذ أقل من ألفي عام، غير أنها جمعت الخبرة التراكمية للعديد من الأدلة السابقة عليها. لقد ظهرت دول قوية في شمال شبه القارة الهندية منذ أربعة آلاف ومائتي عام، على امتداد نهر السند. غير أن حضارة وادي السند المزعومة انهارت بعد ذلك بنحو أربعمائة عام. وبعد ذلك بثمانمائة عام ظهرت دول جديدة، على امتداد نهر الغانج أيضًا، إذ أتاحت التقنيات القائمة على استخدام الحديد لإزالة الغابات، بحيث توسّعت الزراعة وزاد عدد السكان. وبحلول العام ٥٠٠ قبل الميلاد

ظهرت مدن ودول قوية، قام بعضها بغزو الدول-المدن الأصغر. وفي غضون المائتي عام التالية ظهرت مملكة ماجادها الضخمة، وعاصمتها باتاليبوترا، قرب باتنا المعاصرة. ربما ضمّت باتاليبوترا في أوجها نحو مليون شخص، وهو ما جعلها تناهز في عدد السكان روما الإمبراطورية. تعرّضت مملكة ماجادها للغزو على يد الإمبراطورية الماورية نحو العام ٣٢٠ قبل الميلاد، وذلك في أعقاب الغزو غير الناجح للإسكندر الأكبر لشمال الهند في العام ٣٢٧ قبل الميلاد. وقد زُعم كثيرًا أن كاوتيليا، مؤلّف وثيقة الأرثاشاسترا، كان رئيس وزراء الإمبراطور الماوري الأول، تشاندراجبت ماوريا (الذي حكم بين العامَين ٣٢٠ و٢٩٨ قبل الميلاد)، لكن من الأرجح أن الأرثاشاسترا كُتبَت بعد ذلك بقرون.

تبدأ وثيقة الأرثاشاسترا، شأن كثير من أدلة فن الحُكم، بالتّأكيد على أن أسوأ موقف يكون فيه الجميع هو عدم وجود دولة، وعدم وجود حاكم. فالعالم الذي لا يستطيع فيه أحد عقاب المخطئين «يؤدّي إلى سيادة قانون الغاب؛ إذ إنه في غياب من يوقّع العقاب سيُلتهم الضعيف من جانب القوي، وحين يُحمى منه فإنه سيسود». هذه حجّة ملائمة للحُكام بطبيعة الحال، غير أنها تجسِّد حقيقة أكثر عمومية مفادها أنه حتى بالنسبة إلى غالبية الفلاحين، هناك مزايا للعيش داخل دولة منظمة.

وها هو ملخّص المهمات الرئيسية للحكام تقدّمه وثيقة الأرثاشاسترا:

الزراعة وتربية الحيوانات، علاوة على التجارة، تشكّل الاقتصاد. وهو أمر مفيد لأنه يوفّر الحبوب والمواشي والمال ومنتجات الغابات والعمالة. وعن طريق ذلك فإنه [الحاكم] يُخضِع تحت سلطته دائرته الخاصة، ودائرة أعدائه، مستخدمًا الخزانة والجيش. فما يوفّر العمل والأمن... هو العقاب [داندا، أو صولجان الحاكم]، وإدارته هي الحكومة. تسعى الحكومة إلى اكتساب ما لم يتم اكتسابه، وإلى حماية ما تم اكتسابه، وإلى تعزيز ما تم حمايته، وإلى منح ما تم تعزيزه إلى المتلقّين المستحقين. وعليها يعتمد العمل الصحيح للعالم. فالعقاب، إذًا، هو أساس منظومات المعرفة الثلاثة.

من الواضح أن هذا كلّه متعلّق بعملية الحشد، ومتعلّق بآليات الضخ التي تحرّك تدفقات الطاقة والعمالة والثروة من المزارعين والعمال والفنانين إلى حكام المجتمع، من أجل الحفاظ على استقرار الدولة. تعطي غالبية الوثيقة نصائح بشأن جباية الضرائب، واختيار المسؤولين، وتكوين الجيوش والسجون ودعمها، وضمان أن الفلاحين يستطيعون إنتاج ما يكفي من الثروة للمجتمع كي يزدهر.

كانت المعلومات الوافية مهمّة للغاية لعملية الحشد. وفي الحقيقة، كانت عملية الحشد الناجحة تعني أن تمتلك من المعلومات أكثر من أولئك الذين تحشد الموارد منهم. ولهذا يصف الجزء الأكبر من وثيقة الأرثاشاسترا كيفية بناء شبكات من الجواسيس، والحفاظ على سجلّات البلاط، وتسجيل موارد الحكومة وأصولها. كانت عمليات الإحصاء ضرورية، وكان على جامع الضرائب الأكبر تسجيل إجمالي عدد القرى وتصنيفها بحسب ثروتها وتسجيل كميات الحبوب والحيوانات والمال ومنتجات الغابات والعمالة التي كانت توفّرها، علاوة على عدد الجنود. وقد نُصح القائمون على إدارة المدن بـ«معرفة عدد الرجال والنساء داخل كل [مجموعة من المنازل] وذلك من حيث طبقاتهم وأصولهم واسمائهم ووظائفهم، علاوة على مداخيلهم ونفقاتهم». كان على جامعي الضرائب المحلّيين الاحتفاظ بسجلّات تبيّن كم من الأشخاص كانوا «مزارعين ورعاة ماشية وتجارًا وفنانين وعُمالًا وعبيدًا.» كما كان عليهم كذلك تسجيل المجموعات الأخرى الأصغر، منها السحرة وأصحاب المواخير والنُّزُل والجنود والأطباء والمسؤولين. كما احتفظ مسؤولون آخرون بسجلّات تبيّن عدد الأحصنة (المسجّلة أعمارها وألوانها وصحّتها وأصولها)، والأفيال وغيرها من الموارد المهمة.

فمثل الكائنات الحية، تعد الدول منظومات تكيفية معقدة، ولذا فهي تشترك في العديد من السمات مع الكائنات الحية، ولاحظ كثيرون من الكتّاب هذا التشابه. وفي مقدّمة كتّابه «اللفياثان»، وصف توماس هوبز الدولة بأنها وحش ضخم أو لفياثان:

رجل اصطناعي، رغم أنه أعظم في المكانة والقوة من الطبيعي... فيه تكون السيادة هي الروح الاصطناعية... والقضاة، وغيرهم من مسؤولي القضاء والتنفيذ، هم المفاصل الاصطناعية، والثواب والعقاب... هما الأعصاب... وأموال وثروات كل الأفراد هي القوة، وأمن الشعب هو العمل، والمستشارون... هم الذاكرة، والعدالة والقانون هما العقل والإرادة الاصطناعيين، والسلام هو الصحة، والفتنة هي المرض، والحرب الأهلية هي الموت.

إن السمات الرئيسية للدولة تماثل بالفعل سمات الكائنات الحية. فمثل خلايا الكائنات الحيّة، تمتلك الدول حدود شبه مُنفِذَة، وتخلق منطقة داخلية محمية، والتدفّقات الواردة عبر الحدود ضرورية من أجل بقاء الدولة، لذا يجب مراقبتها بحرص. كما تمتلك الدولة «عملية أيض» تحشد تدفقات الطاقة والوارد وتوزعها

حتى تحافظ على عمل الدولة عن طريق دعم النخب (أولئك «المستحقين»، كما تصفهم وثيقة الأرثاشاسترا) والجيوش والبيروقراطيات التي تدافع عن الدولة وتديرها. وفي حالة الدول، كما في الكائنات الحية، يتمثّل المصدر الأهم لغالبية تدفّقات الطاقة في التمثيل الضوئي، الذي يمكِّن المزارعين من اقتناص الطاقة من ضوء الشمس. وفي الدول، كما في الكائنات الحية، يجب أن تُدار تدفقات الطاقة بحرص. فإذا كانت أصغر مما ينبغي ستجوع الدولة، وإذا كانت أكبر مما ينبغي سيتمرّد الرعايا أو يموتون جوعًا، وستجفّ تدفّقات الطاقة. وتمامًا مثلما تحافظ الكائنات الحيّة على تدرّجات الطاقة الكهروكيميائية التي تحرّك تدفّقات الطاقة، تحافظ الدولة على تدرّجات من الإقناع والقسر. فهي تستخدم القانون والتعليم والدين من أجل إقناع رعاياها بأن سلطتها عادلة. غير أنها تمتلك الجيوش ومجموعات التنفيذ المنظّمة حتى تفرض الطاعة والولاء حين يفشل الإقناع. ولهذا السبب تعتبر وثيقة الأرثاشاسترا العقاب (داندا) أساسًا من أسس الدولة. فقد كان القسر ضروريًّا لعملية الحشد في كل الحضارات الزراعية، وهو ما يساعد في تفسير أهمّية الحرب وشيوع العقاب البدني في المجتمع وداخل البيوت والعائلات.

والدول، كالكائنات الحيّة، تتتبّع المعلومات المتعلّقة بمواردها وأعدائها حتى تكون قادرة على التكيّف بصورة دائمة مع البيئات غير المستقرّة. ويتطلّب الانتباه الدائم إلى المخاطر وتتبّع تدفقات الثروة طريقةً ما لتسجيل المعلومات، سواء كنت مأمور تنفيذ أو جاسوسًا أو أحد القائمين على الإحصاء. ولهذا السبب طوّرت كل الدول صورة ما من صور الكتابة، بما في ذلك إمبراطورية الإنكا في أمريكا الجنوبية، والتي اتخذت فيها الكتابة شكل حبال فيها عُقَد، والمعروفة باسم الكيبو. وفي كل مكان تطوّرت الكتابة كوسيلة لتسجيل

معلومات مهمة من الناحية السياسية. فالدول لها قواعد تحكمها، تمامًا كما تمتلك الخلايا جينومات. وفي الدول، يمكن العثور على القواعد في كتب القانون وفي مراسيم الحكّام والمسؤولين المحلّيين، وفي الوثائق الإرشادية مثل الأرثاشاسترا، كما تجدها محفورة على الأعمدة الحجرية، وفي الحكمة الجمعية للحكام والمسؤولين، ومُتضَمَّنة داخل التقاليد الدينية.

وإذا فكّرنا في الدول باعتبارها نوعًا أو جنسًا من الكائنات السياسية، يمكننا أيضًا الدفع بأن الدول التقليدية تطوّرت مع الوقت، بينما تعلّم الحكام والمسؤولون طرقًا جديدة لإدارة الدولة واكتسبوا تكنولوجيات سياسية وعسكرية وبيروقرطية جديدة.

وفي الواقع، إن تاريخ الدول والحضارات الزراعية عبر آلاف الأعوام له نماذج مشابهة في تاريخ الغلاف الحيوي، إذ استعمرت بعض الدول مواطن بيئية جديدة وطورت طرقًا جديدة للحكم وتكنولوجيات سياسية جديدة، واختفى البعض الآخر، وتطوّرت أنواع جديدة من الدول، وصارت بعض الدول أكبر وأكبر واكتسبت سلطة ومعرفة متزايدتين.

انتشار الدول الزراعية

ظهرت الدول بصورة مستقلّة في أجزاء مختلفة من العالم، كما حدث مع الزراعة. ومما لا يدعو إلى المفاجأة أنها ظهرت في المناطق التي ازدهرت بها الزراعة بالفعل لمئات أو آلاف الأعوام وكانت متطورة بما يكفي لدعم أعداد كبيرة من السكان، وإنتاج فوائض كبيرة، وبناء شبكات للتجارة والتبادل، وإنشاء البلدات والمدن. غير أن الدول، وكل الكيانات الأخرى ذات الصلة بها، لم تظهر في كل المناطق الزراعية؛ ففي بعض المناطق، مثل بابوا غينيا الجديدة أو على امتداد نهر المسيسيبي، أدّت الزراعة إلى وجود قرى كبيرة وصور من السلطة، غير أنها لم تكن مُنتجة بما يكفي لدعم مدن كبيرة أو دول.

وكما الحال في الزراعة، يمكننا تتبّع انتشار الحضارات الزراعية داخل مناطق العالم المختلفة بالطريقة عينها التي نتتبّع بها انتشار مرضٍ مُعدٍ.

منذ خمسة آلاف عام، كان من الممكن العثور على الدول في جنوب منطقة ما بين النهرين وعلى امتداد نهر النيل. غير أن هذه الدول كانت آخذة في التنوّع بالفعل. ففي منطقة ما بين النهرين، كانت الدول الأولى مبنية على مدن منفردة بدت في حالة حرب على الدوام، بينما على امتداد نهر النيل، بدت الدول الأولى أكبر حجمًا، وكانت المدن أقل أهمية. وفي غضون الألف عام التالية، ومع زيادة عدد السكان وتطوّر فنون إدارة الدولة، صارت دول جنوب منطقة ما بين النهرين أقوى وسيطرت على مناطق أكبر. ومنذ أربعة آلاف عام مضت، كانت هناك دول في جنوب مصر، على امتداد وادي نهر النيل، وفي السودان، وكذلك في وادي نهر السند، في شمال شبه القارة الهندية، وفي وسط آسيا وفي شمال الصين، على امتداد نهر هوانج هي أو النهر الأصفر. وبعد ألف عام، بحلول العام ١٠٠٠ قبل الميلاد، كان من الممكن العثور على الدول في أجزاء كبيرة من شرق حوض البحر المتوسط، وفي جنوب الصين، خاصّة على امتداد نهر يانجتسي، وفي أجزاء

من جنوب شرقي آسيا. كما أمكن العثور على مقاطعات قوية، من شأنها أن تتطوّر إلى دول مكتملة، في أوروبا وغرب أفريقيا. ومنذ ألفي عام، كانت هناك دول وحضارات زراعية في منطقة الأمريكتين، خاصّة في أمريكا الوسطى والأنديز، وكانت لها نفس الآلية الأيضية التي تمتلكها دول المنطقة الأفرو-أوراسية.

كانت الدول والإمبراطوريات في طريقها لأن تكون أكثر ثراءً ونفوذًا. غير أنها كانت ممتدة عبر مناطق أكبر وكانت تسيطر على مجموعات سكانية أكثر تنوعًا مع تطور تكنولوجيات الحُكم. وقد حاول الباحث الإستوني رين تاجبيرا حساب الزيادة في المناطق الخاضعة لسيطرة الدول. ووفق تقديراته فإن الدول الأولى كانت تسيطر على جزء صغير من الأرض في العام ٣٠٠٠ قبل الميلاد، ربما عُشر الميجامتر. (الميجامتر يعادل مليون كيلومتر مربع، أو نحو مساحة دولة مصر الحديثة.) وبين العامين ٢٠٠٠ و١٠٠٠ قبل الميلاد زادت المساحة التي تسيطر عليها الدول لتصل إلى نحو واحد ونصف الميجامتر، غير أن هذا كان يعادل نحو ١ بالمائة من المساحة التي تسيطر عليها الدول اليوم. كانت غالبية العالم مسكونة من جانب القرى الزراعية المستقلّة والصيادين وجامعي الطعام.

وتذكّرنا الألف عام المنقضية بين أربعة آلاف وثلاثة آلاف عام مضت (بين العامين ٢٠٠٠ و١٠٠٠ قبل الميلاد) بأن الدول من الممكن أن تسقط مثلما تنشأ. ففي وادي السند، في باكستان الحديثة، انهارت منظومة كاملة من الدول، تاركة وراءها بقايا أثرية غنية ونقوش محيّرة لم يتم فك شفرتها بعد. وبعد العام ١٠٠٠ قبل الميلاد، عاد الزخم من جديد، وظهرت دول جديدة في مناطق جديدة، بينما ازدهرت منظومات الدول القديمة وتوسّعت. ربما تُعَدّ الإمبراطورية الأخمينية، التي أسسها الإمبراطور الفارسي كورش الكبير نحو العام ٥٦٠ قبل الميلاد على بقايا الإمبراطورية الأشورية في شمال منطقة ما بين النهرين، أولى الإمبراطوريات العظمى في التاريخ. وفي ذروتها، ربما سيطرت على مساحة مقدارها ستة ميجامترات. وبعد قرنين، ربما هيمنت الإمبراطورية الماورية في شمال الهند على ثلاثة ميجامترات، بينما في الصين كانت إمبراطورية هان تناهز في الحجم الإمبراطورية الأخمينية. ومنذ ألفي عام، حين ازدهرت الإمبراطورية الرومانية وإمبراطورية هان، كانت أولى منظومات الدول تبزغ في أمريكا الوسطى والأنديز، رغم أنها كانت أصغر حجمًا وأقل سكانًا من الإمبراطوريات العظمى في المنطقة الأفرو-أوراسية. وبحسب تقدير تاجبيرا فإنه منذ ألفي عام،

كانت منظومات الدول تسيطر على نحو ستة عشر ميجامترًا، أو نحو ١٣ بالمائة من مساحة اليابسة على كوكب الأرض.

أدى انتشار الدول والحضارات إلى تحفيز ظهور أشكال جديدة من التعلّم الجمعي ترافق مع انتشار التكنولوجيات والسلع والأفكار والديانات والفلسفات عبر مساحات شاسعة داخل مناطق العالم الكبرى. ولم يكن انتشار السكان والأنظمة التجارية ومنظومات الدول مدفوعًا فقط بالتدفّقات المتزايدة للغذاء والطاقة الآتية من الزراعة، وإنما من جانب الابتكار أيضًا. ومع وجود مزيد من البشر في مجموعة أكثر تنوعًا من البيئات، تراكمت المعلومات والابتكارات بصورة أسرع من ذي قبل، ومن الابتكارات المهمّة على وجه التحديد تلك التكنولوجيات التي أدت إلى تسريع وتيرة التبادلات، على غرار الأشكال الجديدة للمال أو السفن والطرق المُحَسَّنة. كانت إمبراطوريات المنطقة الأفرو-أوراسية تهتم بشدة بإنشاء الطرق؛ إذ كانت الطرق بمنزلة شرايين الإمبراطورية. وقد أنشأ الحكام الطرق حتى تتمكّن الجيوش والتجار من التحرّك بسرعة أكبر ولمسافة أبعد، لكنهم أسّسوا كذلك نُظُمًا لنقل الرسائل حتى يستطيعوا معرفة ما إن كانت توجد ثورات أو تهديدات من جانب الأعداء بسرعة. وقد أُنشئ الطريق الملكي من شوشان في بلاد فارس إلى سارد بالقرب من أفسس الحديثة على يد الإمبراطور الأخميني داريوس، ووصفه لنا هيرودوت، وقد امتد عبر أكثر من ألفين وسبعمائة كيلومتر وأتاح نقل الرسائل باستخدام مجموعات متناوبة من الخيول التي تقطع في سبعة أيام مسافة يستغرق السائر تسعين يومًا لقطعها.

مكّنت الكتابة الحكام من تخزين المعلومات المتعلّقة بإمبراطورياتهم ورعاياهم. كما أن التكنولوجيات العسكرية الجديدة، على غرار أطقم الخيول أو سروج الجمال المحسَّنَة أو المجانيق الأقوى أو العربات الأسرع، غيّرت من الحرب تغييرًا جذريًّا، بينما غيّرت الاتصالات المحسَّنَة عبر البر والبحر عملية التجارة وسهلت نقل منتجات المزارع. ومنذ وقت الحضارة السومرية القديمة، انتشرت تكنولوجيات استخراج المعادن وتأشيبها في أنحاء المنطقة الأفرو-أوراسية، بداية بالبرونز، وهو سبيكة من النحاس والقصدير. ومنذ نحو ثلاثة آلاف عام، كانت الأفران قوية بما يكفي لصهر الحديد، الذي كان أقوى من البرونز وكذلك أرخص، لأن ركائز الحديد كانت أكثر شيوعًا وسهولة في الاستخراج من ركائز القصدير أو النحاس. وفي العصر الحديدي، منذ العام ١٠٠٠ قبل الميلاد، استُخدمَت المعادن

في الأسلحة والمعدات الزراعية والسروج وعربات القتال والنقل، بل وحتى في السلع المنزلية العادية كالأوعية والمقالي.

شكَّل التعلم الجمعي الفكر العلمي والفلسفي والتعليمي، واعتمد عليه الإرث اللاهوتي الثري لديانات الدولة الرئيسية، وكلّها تضمّنت قصص أصل في تفسيرها للعالم. وقد حاولت غالبية الدول التأثير على الأفكار الدينية لرعاياها، ولهذا شيد هؤلاء المعابد وأمدوا الكهنة الرسميين بالمال. وفي أحيان كثيرة، كانت الدول تضطهد الشامانات أو الرموز الدينية الأخرى التي كانت تحفظ المعتقدات والممارسات الدينية غير الرسمية. كانت الدول الأولى تعبد آلهة محلية، لكن مع توسع الدول عبر مساحات أكبر، بدا أن آلهتها أيضًا اكتسبوا قوة أعظم ومناطق أوسع. وفي أكبر الإمبراطوريات نرى ظهور الآلهة الكبرى مثل الإلهة الزرادشتي أهورامزدا، الإله الأعظم في الإمبراطورية الأخمينية. كان عابدو تلك الآلهة يعتبرونها حكامًا عالميين، تمامًا كما كانت

الإمبراطوريات التي تعبدهم تزعم أنها تحكم العالم المعروف كله. وكلّ ديانات العالم، بما فيها اليهودية والمسيحية والإسلام، علاوة على التقاليد الدينية لروما واليونان، والهندوسية والبوذية والكونفوشيوسية، والتقاليد الدينية للإمبراطوريات الأمريكية، كلّها تضمّنت آلهة فوق بشرية. وفي غالب الأحيان، كان الحُكام وزعماء التقاليد الدينية المؤسّسية يعملون في تعاون وثيق لأنهم فهموا إلى أي مدى يمكن أن تكون المعتقدات الدينية القوية سبيلًا لتوليد الدعم للمنظومات التي يستفيد منها كلاهما.

تعلّم الحُكام البارعون طرقًا عديدة لزيادة ثرواتهم. فقد حاولوا حماية الفلاحين من الاستغلال المفرط، لأنهم علموا أن غالبية ثرواتهم كانت تأتي من قرى الفلاحين. كان من الخطورة الضغط على الفلاحين أكثر مما ينبغي، ومن الحصافة حمايتهم من جيوش الأعداء أو السادة الجشعين، ودعمهم بمخزون الحبوب حين تسوء المحاصيل. وكما أوضحت وثيقة الأرثاشاسترا فإن الفلاحين كانوا الأساس الاقتصادي لكل دولة، لذا كان الحُكام الحصيفون يريدون تحقيق الازدهار للفلاحين. أيضًا شجّع الحكّام البارعون التجارة الدولية من أجل الحصول على السلع الاستراتيجية النادرة والقيّمة على غرار المجوهرات الثمينة أو الحرير من أجل الأثرياء، والقصدير لصنع البرونز، أو حتى الحبوب لإطعام مدنهم. كثيرون منهم تاجر كذلك في البشر، إذ ازدهر أسر وبيع العبيد للعمل كعمال وخدم وجنود

في البوادي وفي أسواق الرقيق الضخمة الموجودة في شرق المتوسط ووسط آسيا. وكان أولئك الحكام الذين يربحون من التجارة يستثمرون في الأسواق والخانات، ويحمون التجار، وينشئون الطرق والممرات المائية والموانئ من أجل نقل البضائع بسرعة أكبر ولمسافات أبعد.

مع توسّع الدول، اتسعت أيضًا شبكات التبادل. فمنذ أربعة آلاف عام مضت، كانت مدن منطقة ما بين النهرين تتاجر بالفعل مع الهند ومصر وآسيا الوسطى، بينما كان أجزاء من آسيا الوسطى تتاجر مع الصين. ومنذ ألفي عام مضت كانت هذه الشبكات تحمل كميات كبيرة من البضائع، من بينها الحرير والعملات والمصنوعات الزجاجية والتوابل، عبر المنطقة الأفرو-أوراسية من خلال الطرق البرية المعروفة باسم «طريق الحرير» والطرق البحرية في المحيط الهندي. كما حملت شبكات التبادل الدولية هذه أيضًا البضائع التي لم يكن يرغب فيها أحد، منها أمراض كالجدري والطاعون الدبلي. وهذه الطواعين، كتلك التي ضربت الإمبراطورية البيزنطية في عهد الإمبراطور جوستنيان الأول منذ نح ألف وخمسمائة عام، ربما تفسّر تباطؤ نمو السكان في الفترة بين ألفين وألف عام مضت في المناطق السكانية الكثيفة بالمنطقة الأفرو-أوراسية.

ومنذ ألفي عام، كانت توجد إمبراطوريات كبيرة في المنطقة الأفرو-أوراسية، منها الإمبراطورية الرومانية والساسانية وإمبراطورية كوشان والإمبراطورية الماورية وإمبراطورية هان. كما كانت يوجد العديد من الدول شبه المستقلّة في ما بينها. وخلال الألفية التالية، بين ألفي عام وألف عام مضت، انهارت بعض الإمبراطوريات الكبيرة، منها أكبر الإمبراطوريات قاطبة؛ الإمبراطورية الرومانية وإمبراطورية هان تسبّبت الأمراض وتفكّك الإمبراطوريات في تباطؤ النمو خلال معظم هذه الألفية، لكن منذ نحو ألف عام كانت هناك بوادر جديدة على النمو؛ إذ اتّسعت القرى والمدن وشبكات التجارة في المناطق ذات الكثافات السكانية المنخفضة سابقًا في جنوب الصين وشمال أوروبا وأفريقيا. وربما تمثّل أكثر التطوّرات لفتًا للانتباه في ظهور المنظومات السياسية الجديدة المرتبطة بديانة عالمية جديدة، هي الإسلام، في القرن الثامن الميلادي.

بعد ذلك بأربعة قرون، وفي أوائل القرن الثالث عشر الميلادي، تأسّست إمبراطورية المغول على يد قبائل رعوية بقيادة جنكيز خان. ورغم أنها لم تستمر أكثر من قرن واحد، فإنها كانت أكبر إمبراطورية ظهرت حتى ذلك الحين وكانت

أول إمبراطورية تمتدّ عبر المنطقة الأفرو-أوراسية كلّها، من كوريا إلى أوروبا الشرقية. وفي الأمريكتين، ظهرت أولى منظومات الدول الحقيقية منذ نحو ألفي عام مضت، في أمريكا الوسطى والأنديز. وكثير من دول الأمريكتين، مثل المايا، كانت مبنية على مدن منفردة، مثل المدينة-الدولة سومر قبلها بثلاثة آلاف عام. وبحلول وقت إمبراطورية المغول، كانت توجد منظومات إمبراطورية في الأمريكتين هيمنت على العديد من المدن والأقاليم الكبيرة. قد تضمّنت أسلاف إمبراطوريتي الأزتيك والإنكا.

قياس التغيّر في الحقبة الزراعية من التاريخ الإنساني

في الحقبة الزراعية، صار لدينا للمرة الأولى معلومات كافية لمحاولة قياس بعض التغيّرات الجوهرية في التاريخ الإنساني. وبوسعنا أن نحاول تقدير الكيفية التي استخدمت بها المجتمعات البشرية الطاقة، والكيفية التي ارتبطت بها الطاقة والتعقيد المتزايد في التاريخ الإنساني، كما كانا متصلين في تاريخ النجوم والغلاف الحيوي. وتقدّم الأرقام الواردة في الملحق بعضًا من المقاييس العامة لدور الطاقة في التاريخ الإنساني وتأثيرها على حياة البشر. هذه الأرقام متحفّظة بطبيعة الحال لأنها مبنية على بعض من أكثر التقديرات التي لدينا بشأن التغيّرات كبيرة النطاق في التاريخ الإنساني. كما أن القصة التي تخبرها مهمّة ويمكن أن تساعدنا على رؤية الشكل الأوسع للتاريخ الإنساني.

رأينا في الفصل السابق أن التجمعات البشرية ازدادت خلال العصر الحجري القديم ببطء شديد، ربما بمقدار ربع مليون نسمة كل ألف عام خلال العشرين ألف عام التي انقضت منذ آخر العصور الجليدية. وتظهر الأرقام الواردة في العمود (ب) من الملحق التسارع الحاد في النمو السكاني بعد ظهور الزراعة. ففي الفترة بين عشرة آلاف وخمسة آلاف عام مضت زاد عدد البشر أربعة أضعاف، وبعد ذلك، في الفترة بين خمسة آلاف وألفي عام مضت، زاد بمقدار عشرة أضعاف. وبهذا فخلال الفترة بين عشرة آلاف وألفي عام مضت، زاد عدد البشر بمقدار أربعين ضعفًا، بمعدل زيادة مقداره خمسة وعشرين مليونًا كل ألف عام، أي نحو مائة ضعف متوسّط معدّل النمو خلال أواخر العصر الحجري القديم.

ما جعل هذا النمو السريع في عدد البشر ممكنًا هو الزيادة الهائلة في الطّاقة التي استهلكها نوعنا (العمود ج). فمنذ ألفي عام مضت، كان البشر يستهلكون مقدارًا

من الطاقة يزيد بسبعين ضعفًا مقارنة بالعصر الجليدي الأخير. وهذا المنجم الثري من الطاقة الآتي من الزراعة هو ما دفع ثمن النمو السكاني، ودفع ضرائب التعقيد المتعدّدة للإنتروبيا، وأخيرًا دفع ثمن ثروات الأغنياء وذوي النفوذ. ولا توجد مؤشرات تُذكَر على أنه تسبّب في تحسين حياة غالبية البشر.

إن غالبية منجم الطاقة الثري أُنفق في سبيل دعم الزيادة السكانية، لكن ليس كله، لأنه كما يوضح العمود (د) فإنه كانت هناك زيادة طفيفة في مقدار الطاقة التي استهلكها الفرد بعد خمسة آلاف عام مضت. لا يمكننا أن نقيس بدقة الكيفية التي توزّعت بها هذه الطاقة الإضافية، لكن ما نعرفه بالفعل عن تطوّر المجتمعات الزراعية يشير إلى أهم الطرق التي استُخدمت فيها هذه الطاقة. فقد استُخدمَت، أولًا، في دفع مقابل التعقيد المتزايد. ويقدم العمود (و) في الملحق الإحصائي مقياسًا تقريبيًّا للتعقيد المتزايد، وفق افتراض أن حجم أكبر المدن يشير إلى مدى القدرة البشرية على البناء والصيانة ودفع مقابل البنى الاجتماعية والتكنولوجية المعقّدة. وعلى أي حال فإن المدن، مثل الحضارات عمومًا، تعتمد على مقدار كبير من التنظيم وتنفق الكثير على المباني والشوارع والطرق السريعة وقنوات الري والقصور والمعابد والمسؤولين وقوات الشرطة والأسواق والجنود. ويمكننا اعتبار هذه النفقات جزءًا من ضرائب التعقيد المدفوعة للإنتروبيا. كما أن هناك نوعًا من ضرائب الهدر المدفوعة للإنتروبيا، وهذه تمثّلت في الطاقة التي لم يستفد منها أحد في الواقع، وتضمّنت الطاقة المهدورة خلال الحروب والكوارث الطبيعية أو الأوبئة.

نعلم أن بعضَ الطاقة الإضافية الآتية من الزراعة استُخدم في تحسين حياة مجموعات النخب التي كانت تؤلف نحو ١٠ بالمائة من غالبية الحضارات الزراعية. كانت النخب تتحكّم في ثروات عظيمة، بل ومن المرجح أن الزيادة البطيئة في المعدلات العمرية (العمود ه) كانت مقتصرة في الأساس على طبقة الأثرياء وذوي النفوذ. لذا على الأقل بعضٌ من الطاقة الهائلة الآتية من الزراعة ساعد في تحسين حياة بعض البشر. لكن بعد كلّ تلك النفقات الأخرى، لم يتبقَ إلا القليل لرفع مستوى المعيشة لبقية السكان. ولهذا السبب تشير كلّ الأدلة التي لدينا إلى أنه رغم تمتّع الناس بأوقات رخاء عابرة، فإنه في غالبية الوقت كان معظمهم يعيش حياة الكفاف خلال الحقبة الزراعية. وبحسب تقديرات الاقتصادي الفرنسي توماس بيكيتي فإنه في البلدان الأوروبية حتى العام ١٩٠٠ كانت نسبة ١ بالمائة

من السكان تمتلك نحو ٥٠ بالمائة من الثروة القومية، ونسبة ١٠ بالمائة من السكان تمتلك نحو ٩٠ بالمائة من الثروة القومية. أما الـ ٩٠ بالمائة الباقين من السكان فكانوا يمتلكون ١٠ بالمائة وحسب من الثروة القومية. لم يكن ثمة وجود فعلي لطبقة وسطى بالمعنى الحديث لأن «نسبة الأربعين في المائة الوسطى لتوزيع الثروة كانت في نفس درجة فقر نسبة الخمسين في المائة الدنيا.

فغالبية البشر لم يمتلكوا أي شيء، بينما كان نصيب الأسد من أصول المجتمع يقع في يد أقلية».

وإذا كان هذا التوزيع للثروة متماثلًا في غالبية الحضارات الزراعية، فهو يدعم النتيجة العامة القائلة بأن الطاقة الهائلة الآتية من الزراعة لم تحسّن إلا حياة عُشر البشر وحسب. لكن هذه بالتأكيد هي قصة معظم حالات التهافت على الذهب. ومن شأن نشر الثروة بصورة أوسع أن يتطلّب منجمًا آخر من مناجم الطاقة، منجم أكثر روعة من ذلك الذي أتت به الزراعة. ويصف الفصل التالي التغيّرات التي مهدت الطريق إلى المحطة الثامنة، التي وضعت الأساس للعالم الثري بالطاقة الذي نعيش فيه اليوم.

الفصل العاشر : على شفا عالم اليوم

كان اكتشاف أمريكا، واكتشاف الطريق إلى جزر الهند الشرقية عبر رأس الرجاء الصالح هما أعظم وأهم حدثَيْن مسجّلَيْن في تاريخ البشر... وعن طريق توحيد الأجزاء البعيدة من العالم بدرجة ما، وتمكينها من تخفيف احتياجات بعضها البعض، وزيادة مُتَع بعضها البعض، وتشجيع صناعات بعضها البعض، يبدو اتجاهها العام مفيدًا. ومع ذلك فبالنسبة إلى السكان الأصليين، في كل من جزء الهند الشرقية والغربية، كل المنافع التجارية التي نتجت عن هذه الحوادث غرقت وفُقدَت في الفواجع المريعة التي سببتها.

آدم سميث،

An Inquiry Into The Nature And
Causes Of The Wealth Of Nations

أبيع هنا، يا سيدي، ما يرغبه العالم أجمع: السلطة.

ماثيو بولتون،

المستثمر الأكبر في محرك جيمس واط البخاري المُحَسَّن

عند وصف المحطات السابقة الخاصّة بالتعقيد المتزايد، قدّمنا بعض التخمينات المستنيرة بشأن الظروف المثالية التي جعلت هذه المحطات ممكنة. وبينما نقترب من عالم اليوم، يمكننا أن نرى بقدر أكبر من الدقة كيف أن الظروف المثالية تراكمت، وفي النهاية مهّدت الطريق نحو دفعة الابتكار المذهلة التي خلقت عالم اليوم، عالم الأنثروبوسين.

العالم منذ ستمائة عام

بحلول العام ١٤٠٠ ميلادية، كان عدد البشر قد زاد مائة ضعف، من نحو خمسة ملايين نسمة في نهاية العصر الجليدي الأخير إلى ما يناهز خمسمائة مليون نسمة. في أجزاء كبيرة من أستراليا وأفريقيا ووسط أوراسيا وسيبيريا والأمريكتين كان عدد السكان قليلًا، وغالبية الناس كانوا يعيشون على الصيد أو الجمع أو الرعي أو حياة الترحال. غير أن غالبية البشر الآن كانوا يعيشون داخل حضارات زراعية واعتمدوا بصورة مباشرة أو غير مباشرة على الزراعة. وفي الواقع، كان معظم البشر مزارعين. كانت أجزاء كبيرة من العالم تمتلئ بالمزارعين، تمامًا كما امتلأت قبل ذلك بعشرة آلاف عام بالصيادين وجامعي الطعام. وحتى منطقة

المحيط الهادئ كانت تمتلئ بالمزارعين، بعد أن شرع البحارة البولينيزيون في رحلات الهجرة الخطيرة التي أخذتهم إلى معظم أجزاء المحيط الهادئ. وقد استقرّ البشر في أوتياروا (نيوزيلندا) منذ سبعمائة عام مضت، وهي آخر المساحات الكبرى من الأراضي الصالحة للزراعة في المحيط الهادئ.

ومع زيادة عدد السكان، ازداد الضغط من أجل العثور على أراضٍ جديدة، وموارد جديدة، ومصادر جديدة للثروة. وقع صيادو سيبيريا ورعاة الرنَّة تحت ضغط متزايد من مسؤولي الضرائب وتجار الفراء والبدو الرحل، وازدادت الهجمة من أجل اقتناص وبيع فراء وأنياب الفقمات ومنتجات الغابات. وفي أستراليا، حيث لم تكن توجد دولة زراعية تضغط من أجل الحصول على مزيد من الموارد، أجبرت الزيادة السكانية الناس على زيادة الإنتاج. وفي المناطق الخصبة، كتلك المحيطة بسيدني، انكمشت الأقاليم القبلية مع زيادة عدد السكان، وتعيّن على المجتمعات المحلية تطوير تكنولوجيات أكثر تخصصًا ودقة. وفي ميناء سيدني، في القرون الأخيرة، كانت النساء تصيد بخيوط مصنوعة من لحاء الكوراجونج وخطاطيف منحوتة من أصداف تمكّنهن من اصطياد الأسماك من المياه العميقة. كانت النساء يصطدن الأسماك ليلًا وهنّ يركبن زوارق تعرف باسم «الناوي»، وكن يشعلن فيها نارًا كي تدفئهنّ هن وأطفالهنّ الذين يحملنهنّ على صدورهن طلبًا للدفء. وفي العام ١٧٧٠ رأى جوزيف بانكس، الذي أبحر مع كابتن كوك، خليج بوتاني في سيدني وهو يمتلئ بأضواء متلألئة منبعثة من قوارب الناوي. وفي بعض مناطق أستراليا كانت توجد قرى شبه دائمة وصور بدائية من الزراعة.

وفي بعضٍ من جزر المحيط الهادئ الأكبر، مثل هاواي وتونجا ونيوزيلندا، كانت الزراعة مُنتجة بما يكفي لدعم البلدات والدول الصغيرة. وفي أمريكا الوسطى والأنديز، انتشرت الزراعة عبر مناطق كبيرة للغاية لدعم الدول الكبرى وكذلك أولى المنظومات الإمبراطورية الأمريكية. كانت المنطقة المركزية لإمبراطورية الأزتيك، التي تطورت سريعًا في القرن الخامس عشر، تقع في دولة المكسيك الحديثة، وكانت عاصمتها تينوتشتيتلان تقع في مكان مدينة مكسيكو سيتي الحالية. كما كانت المناطق المركزية لإمبراطورية الإنكا، المعاصرة لإمبراطورية الأزتيك، تقع على منحدرات جبال الأنديز، في كل من الإكوادور وبيرو. وكانت عاصمة الإنكا، كوزكو، تقع في جنوب شرقي بيرو الحديثة.

كانت الضغوط السكانية والتنافس على حشد الموارد الجديدة محسوسَيْن بأشد درجة في المنطقة الأفرو-أوراسية، أقدم مناطق العالم وأكبرها وأكثرها سكانًا وتنوعًا. وفي خضم بحث الحكّام والمغامرين والفلاحين الجائعين للأراضي عن المزيد من الطاقة والموارد، فإنهم تنافسوا على الأراضي الجديدة الصالحة للزراعة والصور الجديدة للثروة، بما في ذلك الفراء والتوابل والمعادن، وكانوا مستعدين دائمًا لطرد الصيادين وجامعي الطعام من أراضيهم لو لزم الأمر. وقد دفعت هذه الضغوط الفلاحين إلى الاستقرار في أراضٍ ربما كانوا يزدرونها سابقًا، في شمال إسكندنافيا مثلًا أو في أجزاء من أوكرانيا وروسيا على حافة البوادي الأوراسية القاحلة. تعاظمت ضغوط الحشد وأدّت إلى تنوّع الشبكات داخل المنطقة الأفرو-أوراسية، وزادت من حجم وثراء وتنوّع الأفكار والسلع التي تبادلتها عبر طريق الحرير أو عبر الطرق البحرية في المحيط الهندي.

في العام ١٤٠٠، كان حزام مركّز من البشر والمدن والأراضي الزراعية يمتدّ من المحيط الأطلسي، على امتداد كلا جانبي البحر المتوسط، عبر بلاد فارس وأجزاء من آسيا الوسطى، وصولًا إلى الهند وجنوب شرقي آسيا والصين. كانت أغنى إمبراطوريات العالم وأكثرها اكتظاظًا بالسكان في العام ١٥٠٠ تحكمها أسرة مينج الحاكمة في الصين. وفي أوائل القرن الخامس عشر أرسل إمبراطور أسرة مينج الحاكمة يونجلي أساطيل عظيمة، تحت قيادة الخصي المسلم تشنج خه، للسفر عبر المحيط الهندي إلى الهند وبلاد فارس وإلى الموانئ الثرية في شرق أفريقيا. كانت سفن تشنج من أكبر السفن التي بُنيت على الإطلاق وأكثرها تقدّمًا، ووفّرت رحلاتها العديدة إحساسًا مُسبقًا مثيرًا للاهتمام بالعولمة التي كانت قريبة الحدوث. لكن بعد العام ١٤٣٣، وتحت حكم الإمبراطور الجديد هونج شي، توقّفت إمبراطورية مينج عن إرسال الحملات الاستكشافية. كانت الصين دولة غنيّة ومكتفية ذاتيًّا بدرجة كبيرة، لذا لم تكن رحلات تشنج خه ذات قيمة كبيرة من الناحية التجارية، كما كانت هذه الرحلات مكلفة. وقد قرر الإمبراطور الجديد ومستشاروه أنّ من الأجدى إنفاق هذا المال على استخدامات أفضل، مثل الدفاع عن الحدود الشمالية للإمبراطورية ضد البدو الغزاة.

كانت للحكام ذوي الموارد الأقل وأعداد السكان الأصغر أسبابٌ أكثر للبحث عن الثروة في ما وراء الحدود. فمثلًا شهدت إمبراطورية موسكوفي اليافعة توسّعًا سريعًا في القرنين الخامس عشر والسادس عشر، وقد شيّدت حكومتها خطوطًا

من الحصون دفعت حدودها إلى الجنوب نحو المراعي الخصبة والخالية الموجودة في شمال البحر الأسود، وإلى الجنوب الشرقي نحو أسواق طريق الحرير في آسيا الوسطى، وإلى الشرق نحو سيبيريا العامرة بالطرائد ذات الفراء ومناجم المعادن.
كانت الإمبراطورية العثمانية هي الأقوى في العالم الإسلامي، وبحلول القرن السادس عشر كانت قد بسطت سلطتها على جنوب شرقي أوروبا، ومنطقة ما بين النهرين، وشمال أفريقيا، وبعد غزو مصر في العام ١٥١٧ صارت تتحكّم أيضًا في عمليات التجارة المربحة الآتية من المحيط الهندي إلى البحر المتوسط ثم إلى أوروبا. وفي القرن عينه، ظهرت إمبراطورية مسلمة منافسة في شبه القارة الهندية: هي سلطنة مغول الهند، التي أسّسها بابور، أحد أحفاد الإمبراطور المغولي جنكيز خان. وفي أفريقيا، كانت توجد دول وإمبراطوريات قويّة في شمال الصحراء الكبرى، وعلى امتداد نهر النيل، وفي غرب أفريقيا، وكذلك على امتداد الساحل الشرقي، الذي كان عامرًا بالعديد من المدن التجارية الثرية. تقع أوروبا عند الحافة الغربية للكتلة الأرضية الأوراسية، بعيدًا عن التيارات الثرية للثروة التجارية التي مرّت عبر البحر المتوسط والمحيط الهندي. وقد تمكّن الفينيقيون من استغلال هذه التدفقات التجارية، غير
أن الأمر لم يكن سهلًا. ففي العام ١٥٠٠، كانت الإمبراطورية الأوروبية الأقوى هي الإمبراطورية الرومانية المقدّسة، وكانت عبارة عن مجموعة من الدول والأسقفيات والمقاطعات المتداعية التي تربطها علاقات الزواج والغزو وتمتد من النمسا عبر ألمانيا ووصولًا إلى هولندا وإسبانيا.
في العام ١٤٠٠، كان العالم لا يزال مقسّمًا إلى مناطق عالمية منفصلة لم يكن يوجد بينها اتصالات حقيقية. غير أن تزايد عدد السكان وتنامي ضغوط الحشد ضمنت أنه، إن عاجلًا أم آجلًا، ستتعرض الأغشية الفاصلة بين مناطق العالم إلى الاختراق. لم يكن معروفًا مَن سيقوم بذلك أو متى، رغم أن ضغوط الحشد الشديدة في المنطقة الأفرو-أوراسية جعلت من المرجح بشدة أن يأتي هذا الاختراق من داخل هذه المنطقة.
وفي العام ١٤٩٢، قُطع المحيط الفاصل بين أكبر منطقتين عالميتين أخيرًا بفضل رحلة استكشافية قادها كريستوفر كولومبوس، الملاح القادم من جنوا. كان كولومبوس قد أقنع حاكما إسبانيا بدعم حدسه القائل بوجود طريق سريع عبر المحيط الأطلسي يربط أوروبا بأسواق شرق آسيا الثرية. وعلى مدار القرون

الثلاثة التالية تعرّضت الأغشية الفاصلة بين أستراليا ومنطقة المحيط الهادئ للاختراق أيضًا، وللمرة الأولى في التاريخ الإنساني بدأ البشر يتبادلون المعلومات والأفكار والسلع والبشر والتكنولوجيات والديانات، بل والأمراض، عبر العالم أجمع.

كان التغيير جذريًّا. فللمرة الأولى منذ أن أوجدت حركة الألواح التكتونية قارة بانجايا الكبرى الواحدة، منذ مائتين وخمسين مليون عام، صار بإمكان الجينات والكائنات والمعلومات والأمراض التدفّق داخل منظومة عالمية واحدة. وقد وصف المؤرخ العالمي ألفريد كروسبي هذه الثورة الإيكولوجية بأنها «التبادل الكولومبي»، وبيَّن أن العولمة غيرت الغلاف الحيوي جذريًّا، تمامًا كما غيرت التاريخ الإنساني. وفي «البيان الشيوعي»، ذهب ماركس وإنجلز إلى أن هذه التغييرات تسببت في تدشين الرأسمالية الحديثة.

إن اكتشاف أمريكا، والدوران حول رأس الرجاء الصالح، فتحا أراضي جديدة للبرجوازية البازغة. فالأسواق الصينية وأسواق جزر الهند الشرقية، واستعمار الأمريكتين، والتجارة مع المستعمرات، والزيادة في وسائل التبادل وفي السلع عمومًا، منحت للتجارة، والملاحة، والصناعة، دفعًا غير مسبوق، وبهذه الطريقة أتاحت للعنصر الثوري في المجتمع الإقطاعي المتداعي نموًّا سريعًا.

كانت الصدمة الناتجة عن ربط مناطق العالم ببعضها قوية للغاية، إلى درجة أنه في غضون بضعة قرون كانت المجتمعات البشرية قد عبرت المحطة الثامنة على طريق التعقيد المتزايد، وقد كان التغيّر سريعًا لأنه حدث في عالم تسوده العولمة. ففي الماضي، كان التعلّم الجمعي يحدث على مستوًى محلّيٍّ أو إقليميٍّ، ولهذا استغرق المزارعون عشرة آلاف عام للانتشار في أرجاء الكوكب، لكن في عالم من الشبكات العالمية، استغرق تغيير السواد الأعظم من الأرض تغييرًا جذريًا بضعة قرون وحسب. كان هذا التغيير لا يقل في الأهمية عن أي شيء حدث خلال تاريخ الغلاف الحيوي الممتد لأربعة مليارات عام. فعلى حين غرة، وجد البشر أنفسهم مترابطين داخل مجال عالمي وحيد: المجال نو. وبحلول القرن العشرين، كان المجال نو قد أصبح قوة مزلزلة للتغيير داخل الغلاف الحيوي بأكمله.

إنشاء منظومة عالمية واحدة

كان الملاحون الأوروبيون أول من ربط مناطق العالم الرئيسية ببعضها بعضًا. ومنحت هذه الحقيقة البسيطة الحُكام ورواد الأعمال الأوروبيين مزيّة هائلة لعدة قرون، لأن أوروبا، التي كانت بعيدة عن المحاور العظيمة للثروة والسلطة، صارت تتحكّم الآن في البوابات التي عبرت منها أكبر تدفقات الثروة والمعلومات في التاريخ الإنساني.

وصل البحّارة الأوروبيون إلى مناطق العالم الأخرى لأنهم لم يتمتّعوا بالقدرة على الوصول السهل إلى الأسواق الثرية بجنوب آسيا وجنوب شرقها. كان هذا يعني أنه كان عليهم تحمل المخاطر إذا أرادوا نيل حصتهم. وأهم ما في الأمر أنه تعيّن عليهم تجاوز التجار العثمانيين الذين هيمنوا على البحر المتوسط. كان هذا من الأسباب التي دعت الحكومات البرتغالية، في منتصف القرن الخامس عشر، إلى البدء في إرسال سفن كبيرة قادرة على المناورة ومسلحة بمدافع من أجل سبر الساحل الغربي لأفريقيا. كانت هذه السفن، بأشرعتها المثلثة المستوحاة من النماذج الإسلامية وبوصلاتها ومدافعها المستوحاة من الاختراعات الصينية، تعد في حد ذاتها أمثلة للتضامن الفكري المتراكم داخل المنطقة الأفرو-أوراسية. وبحلول خمسينيات القرن الخامس عشر، كان الملاحون البرتغاليون قد أسّسوا تجارة بحرية مربحة مع إمبراطورية مالي من أجل الحصول على الذهب والقطن والعاج والعبيد، وهذا ما كان يتمّ نقلها من قبل عن طريق قوافل الجمال عبر الطرق البرية بالصحراء الكبرى.

شجّعت هذه النجاحات المتواضعة المنافسين، وكان الملاح كريستوفر كولومبوس ابن مدينة جنوا أحد هؤلاء. أقنع كولومبوس الملكين فرناندو وإيزابيلا حاكمَيْ إسبانيا بدعمه من أجل اكتشاف طريق غربي مباشر نحو آسيا عن طريق الإبحار عبر المحيط الأطلسي. وقد آمن، مخطئًا، أن المسافة إلى الصين عبر المحيط الأطلسي كانت أقل كثيرًا مما افترض الكثيرون. قامر فرناندو وإيزابيلا على فكرته لأنهما كانا يعلمان أنه لو كان كولومبوس محقًّا، فستكون العوائد هائلة. وفي الثاني عشر من أكتوبر العام ١٤٩٢، رست سفنه على جُزَيْرة سمّاها سان سلفادور، في جزر البهامس. ظل كولومبوس مقتنعًا حتى نهاية حياته أنه قد وصل إلى آسيا، أو جزر الهند، ولهذا السبب وصف من قابلهم هناك بأنهم هنود، ولهذا السبب أيضًا شعر بالحيرة من عُريهم وفقرهم الظاهري وعدم وجود أي كيمونو أو أردية حريرية. قاده الأسرى إلى كوبا، وهناك وجد كميات صغيرة من الذهب،

وكان هذا كافيًا لإقناع فرناندو وإيزابيلا بتمويل المزيد من الرحلات. وللمرة الأولى أوجدت رحلات كولومبوس اتصالًا دوريًّا بين منطقة الأمريكتين والمنطقة الأفرو-أوراسية. وفي العام ١٤٩٨، بعد ستة أعوام فقط من رحلة كولومبوس الأولى العابرة للأطلسي، أثبت قبطان برتغالي، هو فاسكو داجاما، أن من الممكن الوصول إلى جنوب شرقي آسيا عن طريق الإبحار حول الطرف الجنوبي لأفريقيا. فلم يكن المحيط الهندي عبارة عن بحيرة واسعة مغلقة، كما افترض الكثيرون.

إن كثيرًا من المواجهات الأولى بين الأشخاص من مناطق العالم المختلفة، وربما معظمها، كان عنيفًا وفوضويًّا ومدمّرًا. لعب التشكّك في الغرباء دورًا في الأمر، وكذلك الاختلافات العديدة في الكثافة السكانية وفي التكنولوجيات وفي أنماط التنظيم الاجتماعي والعسكري، بل ومقاومة الأمراض التي تراكمت على مدار آلاف الأعوام. كان هناك رابحون وخاسرون، وأحيانًا كانت النتائج كارثية. ومثل ظهور الأوكسيجين في الغلاف الجوي للمرة الأولى أو الموت المفاجئ للديناصورات، كان هذا مثالًا لما أطلق عليه اقتصادي المدرسة النمساوية جوزيف شومبيتر اسم «التدمير الخلّاق»؛ أي الإحلال الدائم، والعنيف عادة، للجديد محل القديم، والذي اعتبره شومبيتر جوهر الرأسمالية الحديثة. دُمِّرَت مجتمعات كثيرة، وهلك بشر كثيرون، لكن كان هناك جانب خلّاق للأمر كذلك، لأن حجم شبكات التبادل العالمي الأولى أدى إلى نشر التعلّم الجمعي على مستوى الكوكب ككلّ، وأطلق تدفّقات هائلة من المعلومات والطاقة والثروة والقدرة التي أدت في النهاية إلى تغيير المجتمعات البشرية تغييرًا جذريًّا في كل أنحاء العالم.

كانت المميزات كلها تقريبًا من نصيب الدول والإمبراطوريات الجائعة للموارد والواقعة على الحافة الغربية للمنطقة الأفرو-أوراسية، والتي كانت سفنها أول من كسر الحاجز بين مناطق العالم المختلفة، وقد استغلت هذه المميزات بنهم جامح وكفاءة قاسية. وفي غضون خمسين عامًا من رحلة كولومبوس الأولى، كان البرتغاليون قد استخدموا سفنهم المسلحة في بناء نقاط قوية محصّنة شكلت معًا إمبراطورية تجارية في المحيط الهندي. كانت المخاطر التي يواجهها البحارة والتجار عظيمة، لكن كذلك كانت المكاسب المحتملة. وفي الأمريكتين، هيمن الغزاة الإسبان، أمثال إرنان كورتيس وفرانثيسكو بيثارو، على حضارتي الأزتيك والإنكا الثريتين. وقد نجحا في هذا بجيوش صغيرة استغلت الانقسامات السياسية داخل كلتا الإمبراطوريتين. غير أنهما حصلا على بعض العون من التأثير المدمّر

للأمراض الأوروبية، كالجدري، التي قتلت ما يصل إلى ٨٠ بالمائة من سكان الإمبراطوريات الأمريكية الكبرى، وأتلفت الهياكل والتقاليد الاجتماعية القديمة. وفي مقابل تكلفة فادحة دفعها آخرون، حقّق الغزاة الإسبان مكاسب عظيمة، وحقّقوا الثراء لأنفسهم ولمجتمعاتهم الأم.

وفي الأمريكتين، وجد الغزاة الإسبان ما هو أكثر من الذهب والفضة؛ إذ وجدوا كذلك أرضًا يمكن استخدامها في زراعة محاصيل كالسكر، الذي كان يشتهيه الأوروبيون على نحو متزايد. كان الإسبان (ومن بينهم أقرباء لكولومبوس ذاته) قد بيّنوا بالفعل كيف ينتجون السكر بثمن زهيد في جزر الكناري، حيث كان يُزرَع في مزارع يعمل فيها العبيد. وقد وفّرت هذه المزارع عينة للأرباح التي ستتحقّق في الأمريكتين، عادة باستخدام أشد أنواع العنف قسوة.

وفي أربعينيات القرن السادس عشر، في بوتوسي في بوليفيا الحديثة، عثر التجار الإسبان على جبل من الفضة. في البدء كانوا ينقّبون فيه باستخدام الأنظمة التقليدية لأعمال السخرة والموروثة من الإنكا، غير أن معدلات الوفيات كانت شديدة الارتفاع لدرجة أنهم سريعًا ما بدأوا في استيراد العبيد الأفارقة. كانت قوافل من البغال تنقل الفضة إلى ميناء أكابولكو المكسيكي، حيث يجري سكها إلى بيزو فضي، أولى العملات العالمية. تدفّق كثير من البيزوات عبر الأطلسي إلى أوروبا، حيث دعمت الاقتصادات المحلية، إذ استخدمتها الحكومة الإسبانية في سداد الديون إلى الدائنين الألمان أو الهولنديين. انتقلت البيزوات كذلك عبر المحيط الهادئ في سفن الجاليون إلى مدينة مانيلا الواقعة تحت سيطرة الإسبان، وهناك بادلها التجار والمسؤولون الإسبان بالحرير والخزف الصيني وغيره من البضائع التي أتى بها التجار الصينيون، والتي أعادوا بيعها في الأمريكتين وأوروبا محقّقين أرباحًا عظيمة. كانت هذه صورة كلاسيكية لتجارة المراجحة. فقد كان التجار يشترون السلع في الأماكن التي تكون بخسة الثمن فيها ثم يبيعونها في الأماكن التي تندر فيها، وكانوا يحقّقون أرباحًا هائلة لأن الفجوة بين تكاليف الإنتاج وثمن البيع من الممكن أن تكون شديدة الاتساع في أولى الأسواق العالمية في التاريخ. كان اقتصاد الصين الآخذ في الازدهار بحاجة إلى الفضة وكان يقدّرها بشدة، لذا كانت الفضة تساوي في الصين ضعف ما كانت تساويه في أوروبا، وأبقت عمالة العبيد في

الأمريكتين تكاليف الإنتاج منخفضة. وعلى العكس من ذلك كان الحرير شائعًا في الصين، لكنه كان ذا قيمة عظيمة في أوروبا.

وما دامت سفنهم تتجنّب التحطم والقراصنة، كان باستطاعة التجار الأوروبيين وممّوليهم تحقيق أرباح هائلة عن طريق استغلال تدرّجات الأسعار الحادّة التي شهدتها أولى شبكات التبادل العالمية. وفي القرن السابع عشر واصل الهولنديون والإنجليز ما بدأه البرتغاليون والإسبان؛ إذ استولوا على الحصون البرتغالية في آسيا وشرعوا في التهام المستعمرات الإسبانية والبرتغالية الموجودة في الكاريبي وأمريكا الشمالية.

تدفّقت المعلومات عبر هذه التدرّجات علاوة على الثروة، وكانت المعلومات لا تقل عن الثروة في الأهمية. وقد أبرز اختراع طرق جديدة للطباعة على يد يوهان جوتنبرج في منتصف القرن الخامس عشر أهمية التدفّقات الجديدة للمعلومات. نُشر نحو ثلاثة عشر مليون كتاب في الفترة بين العامين ١٤٥٠ و١٥٠٠، وأكثر من ثلاثمائة مليون كتاب بين العامين ١٧٠٠ و١٧٥٠ . لم تعد الكتب والمعلومات التي تضمّها رفاهية مكلفة ونادرة، وصارت شيئًا عاديًّا يمتلكه المتعلّمون. ومثلما أدت أرباح تجارة المراجحة إلى تنشيط التجارة الأوروبية، فقد أدّت تدفّقات المعلومات الجديدة إلى تنشيط العلم والتكنولوجيا الأوروبيين.

عثر الملاحون الأوروبيون على قارات وجزر جديدة، ورأوا مجموعات جديدة من النجوم في السماوات الجنوبية، وقابلوا شعوبًا وديانات ودولًا ونباتات وحيوانات لم يسبق ذكرها في النصوص القديمة. وقد زلزل تسونامي المعلومات هذا التعليم والعلم بل والدين في كل أرجاء أوروبا، لأن هذه كانت أول، وأسرع، منطقة تتدفّق عبرها المعلومات. وقد أجبرت هذه المعلومات الباحثين الأوروبيين على التشكيك في العلوم القديمة، بل والكتاب المقدّس، وبدأت في تقويض قصص الأصل التقليدية. ففي إنجلترا في القرن السادس عشر، ذهب فرانسيس بيكون إلى أن العلم والفلسفة ينبغي ألا يعتمدا بعد الآن على النصوص القديمة بالأساس، وإنما يجب أن يسعيا وراء المعارف الجديدة، مثل الملاحين الأوروبيين: «عبر الرحلات البحرية والأسفار البعيدة التي صارت متكرّرة في عصرنا اكتُشفَت وظهرت أشياء كثيرة في الطبيعة، وهو ما سمح بإلقاء ضوء جديد على الفلسفة». كما كتب جوزيف جلانفيل في العام ١٦٦١: «توجد قارة أمريكية من الأسرار، ودولة بيرو مجهولة من الطبيعة». تنتظر العثور عليها.

وقد عبّر ديفيد وُتون، المؤرّخ المعاصر للثورة العلمية، عن الأمر قائلًا: «إن فكرة الاكتشاف... شرط مسبق لاختراع العلم». فعليك بدراسة العالم نفسه، وليس ما قيل عن العالم، وأن تتعلّم كيف «تغزو الطبيعة عن طريق طاعتها». كما قال بيكون. يتّفق هذا كثيرًا مع الروح الاستغلالية للعلم الحديث والتكنولوجيا. وفي القرن السابع عشر بدأ العلماء يفهمون أنهم كانوا يعيشون داخل ثورة فكرية، وكذلك جغرافية وتجارية، وأن المعرفة الجديدة كانت تزيد سيطرة الإنسان على العالم الطبيعي. وقد كتب أحد أعضاء الجمعية الملكية في العام ١٦٧٤: «أما عن عملنا، فنتّفق جميعًا على أنه ليس تبييض حوائط منزل قديم، وإنما بناء منزل جديد». وفي القرن الثامن عشر بدأ مفكرو عصر التنوير الأوروبيون يرون الغاية والمعنى و«التقدم» في المعرفة الجديدة. أما الفكرة القائلة بأن البشر ينبغي عليهم أن يغيّروا العالم وأن «يحسِّنوه» فقد بدأت تشكّل وجه العلم والأخلاقيات والاقتصاد والفلسفة والتجارة والسياسة.

لقد تغيّر عالم الفكر تغييرًا جذريًّا، ويقدّم ديفيد وُتن وصفًا مؤثّرًا للتغيير. ففي زمن شكسبير، حتى أكثر الأوروبيين تثقيفًا كانوا يؤمنون عمومًا بالسحر والعِرافة، وبالمذؤوبين والأحصنة وحيدة القرن، وكانوا يؤمنون بأن الأرض ساكنة وأن السماء تدور حولها، وأن المذنّبات تنذر بالشر، وأن شكل النبات يُنبئ بقدراته العلاجية لأن الرب صمّمه بحيث يكون قابلًا للتفسير، وبأن «الأوديسه» كانت تاريخًا فعليًّا. لكن بعد قرن ونصف، حين كان فولتير على قيد الحياة، كان المثقفون الأوروبيون مختلفين كثيرًا؛ إذ جمع كثيرون منهم أو قرأوا عن الأدوات التجريبية كالتليسكوب والميكروسكوب ومضخات الهواء، وكانوا يرون أن نيوتن هو أعظم العلماء، وكانوا يعلمون أن الأرض تدور حول الشمس، ولم يؤمنوا بصحة السحر أو القصص التاريخية الواردة في الأساطير القديمة أو بالقصص التي تدور عن الأحصنة وحيدة القرن أو بصحة (غالبية) المعجزات، وكانوا يؤمنون بنمو المعرفة وبوجود نوع من التقدّم.

مثّلت المعلومات الجديدة أساس وقوام أنواع جديدة من المعارف. وبينما كان إسحاق نيوتن يعمل على تطوير قوانين الجاذبية، فإنه اطلع على نطاق غير مسبوق من المعلومات. وكان بإمكانه، مثلًا، أن يقارن الكيفية التي يتأرجح بها البندول في باريس بالكيفية التي يتأرجح بها في الأمريكتين وأفريقيا. لم يسبق لأي جيل من

العلماء أن استطاع اختبار أفكاره بهذه الصورة المتكاملة أو داخل هذه الشبكات العريضة والمتنوّعة من المعلومات.
من الممكن ربط إنجاز نيوتن بالزيادة الكبيرة في المعرفة العامة التي جلبتها التجارة والاستكشاف في ما وراء البحار إلى الأوروبيين. وإن شجاعة التعميم، والوصول إلى ثوابت عامة بشأن العالم الطبيعي، تدين بالكثير إلى الكمية الهائلة من المعلومات ـــــوالثقة- التي منحها تفوق الأوروبيين في البحار العظمى للمفكّرين على البر أمثال إسحاق نيوتن.

كان لتدفقات المعلومات والثروة الجديدة والمبهرة تأثير قوي آخر؛ إذ حفّزت الأشكال التجارية من الحشد، التي توصف عادة بكلمة «الرأسمالية»، والتي تدفعها تدرّجات الثروة والمعلومات. في غالب الأحيان كان الحكام التقليديون يحشدون الثروة عن طريق التهديد بالقسر، والوعد بالحماية، والالتجاء إلى السلطات الدينية والقانونية. لكن في جميع الحضارات، استطاع التجار أيضًا حشد الكثير من الثروة عن طريق التجارة. وقد اعتمد الحشد التجاري على المراجحة، أي على الشراء بثمن بخس في إحدى المناطق والبيع بسعر مرتفع في منطقة أخرى. ولكي ينجح التجار فقد كانوا بحاجة إلى الثروة والمعلومات المتعلّقة بما يمكن الاستثمار فيه. وقد فتحت التدرّجات الحادة للثروة والمعلومات في أولى شبكات التبادل العالمية مثل هذه الفرص التجارية الواسعة أمام التجار ورواد الأعمال الأوروبيين بحيث زادت ثروتهم ونفوذهم السياسي إلى درجة أن بدأ أباطرة، أمثال تشارلز الخامس من الإمبراطورية الرومانية المقدّسة، الاقتراض من التجار.

كان الحكام الأوروبيون في العموم أكثر حرصًا على العمل مع التجار من الحكام التقليديين أمثال أباطرة أسرة مينج الحاكمة في الصين، وذلك لأن غالبية الدول الأوروبية كانت تمتلك موارد متواضعة، وكانت تخوض حروبًا لا نهاية لها، وكانت في حاجة دائمة إلى النقد. وكان الحكام الذين يقترضون من التجار أكثر حرصًا بطبيعة الحال على دعم التجارة. وبهذه الطريقة ظهرت علاقة تكافلية وثيقة بين التجار الأوروبيين والحكام؛ فقد كان الحكام يدعمون التجارة ويحمونها، وفي المقابل حصلوا على الحق في فرض الضرائب والتربّح من الثروة التجارية. كانت هذه أولى صور الرأسمالية البسيطة، تلك المنظومة التي أثارت إعجاب الاقتصاديين الأوروبيين من آدم سميث إلى كارل ماركس.

اتّخذت الشراكة الجديدة بين الحكومات الأوروبية ورواد الأعمال صورًا عديدة، وتعد تجارة الفودكا الروسية نموذجًا معبرًا عن هذه الشراكة. ظهر التقطير في روسيا في القرن السادس عشر، وعلى الفور تقريبًا أدرك المسؤولون في حكومة إيفان الرهيب (الذي تشير كنيته إلى الطريقة القاسية التي كان يعامل بها النبلاء) أنهم لو استطاعوا منع الفلاحين من التقطير في منازلهم (وهو ليس بالأمر الصعب لأن التقطير يتطلّب قدرًا كبيرًا من المهارة والمعدّات)، فسيربحون كثيرًا من الأموال لأن المشروبات الروحية كانت واحدة من السلع القليلة التي تعيَّن على الفلاحين أن يشتروها من الغير. لقد كانت مادّة تغيّر الحالة الذهنية، وسريعًا ما صار وجودها ضروريًّا لدى الفلاحين، الذين استخدموها في الاحتفالات الدينية والعائلية المهمّة، علاوة على الزيجات والمآتم. غير أن نقل الفودكا إلى آلاف القرى المتناثرة عبر مساحة كبيرة كان مهمّة شاقة، مهمّة تناسب التجار. لذا شيّدت الحكومة الروسية، بالشراكة مع التجار، تجارة مربحة في الفودكا، إلى أنه بحلول القرن التاسع عشر كانت أرباحها تدفع تكاليف الجيش الروسي، واحد من أكبر جيوش العالم وقتها. لقد دفعت الحكومات الروسية والمجتمع ضريبة إنتروبيا كبيرة في مقابل مضخّات العوائد المعقّدة الخاصة بتجارة الفودكا، والتي أدّت في النهاية إلى مستويات مرتفعة وخطيرة من إدمان الكحوليات.

ورغم أن الرأسمالية ولَّدَت صورًا جديدة من عدم المساواة، فإن الاقتصاديين معجبون بها لأنها لعبت دورًا مهمًّا كذلك في زيادة كل من الثروة والابتكار. وقد تفهّم العديد من الاقتصاديين المبكرين جيدًا أن الثروة التي يتاجر بها ويولِّدها الرأسماليون مثَّلَت في الحقيقة السيطرة على ضوء الشمس المضغوط، وعلى تدفّقات الطاقة الآتية من الغلاف الحيوي. ولهذا السبب آمن الكثيرون بنظرية قيمة العمل؛ فالعمل على أي حال كان هو الطاقة. غير أنهم تفهّموا كذلك أن الرأسمالية كانت جيّدة تحديدًا في تشجيع الابتكار في السيطرة على الطاقة، وسبب هذا هو أن التجار، خلافًا للحكّام التقليديين، لم يكن باستطاعتهم استخدام القوة الغاشمة لحشد الثروة (رغم أنه سيسعدهم هذا لو استطاعوا إليه سبيلًا). وفي غالب الأحيان تعَيَّن على التجار استخدام المكر بدلًا من القوة. هذا يعني البحث عن معلومات جديدة. وقد تعيَّن عليهم العثور على سلع وأسواق جديدة، وتعيَّن عليهم المتاجرة بكفاءة وتقليل النفقات. وفوق كل شيء، تعيَّن عليهم الابتكار إذا ما أرادوا أن يفوقوا منافسيهم دهاءً. فكان عليهم العثور على طرق جديدة لحشد تدفّقات الطاقة والموارد

والسيطرة عليها، وهذا يساعد في تفسير لماذا صارت المجتمعات الأوروبية ذات الصبغة الرأسمالية المتزايدة أكثر ثراءً وابتكارًا في القرون التي أعقبت عبور كولومبوس للأطلسي.

بعض الحكومات، مثل هولندا أو البندقية، كان يحكمها التجار، لذا كانوا يولون التجارة أهمّية شديدة حقًّا. وقد تعلّم البريطانيون الكثيرَ من الهولنديين، بل وكان لديهم لفترة وجيزة ملك هولندي في أواخر القرن السابع عشر، هو ويليام الثالث. أنفقت الحكومات البريطانية مبالغ هائلة على القوة البحرية التي يمكنها حماية القواعد التجارية المحصّنة والمستعمرات في منطقة الكاريبي، وأمريكا الشمالية، وفي النهاية الهند، وفي ظل الحماية البحرية، حقّقت الحكومة البريطانية والتجار مكاسب هائلة. فعلى سبيل المثال، باعت الحكومة والتجار السلاح إلى الحكام الأفارقة في مقابل العبيد، الذين نقلوا إلى الأمريكتين للعمل في ظروف مروعة. كان يجري مبادلة العبيد بالسكر والتبغ وغير ذلك من منتجات المزارع، التي كانت أسعارها منخفضة لأن عمالة العبيد كنت زهيدة الثمن. كان هذا يعني أن منتجات المزارع يمكن بيعها بثمن بخس ومربح في الأسواق الاستهلاكية المتوسّعة في إنجلترا وأوروبا. ومثل الحكومة الهولندية، صارت الحكومة البريطانية معتمدة على نحو متزايد على الأرباح الآتية من التجارة، بما في ذلك مدفوعات الجمارك. وهذا يساعد في تفسير لماذا أسست الحكومة، في العام ١٦٩٤، بنك إنجلترا، من أجل جعل القروض الرخيصة متاحة للتجار البريطانيين ورواد الأعمال وأصحاب الأراضي. وفي القرن الثامن عشر، شجّعت القروض الرخيصة الابتكار الزراعي وساعدت في شق القنوات وبناء منظومة ممتدّة من النقل بالعربات. كما صارت لندن واحدة من أكبر مدن العالم، وازدهرت التجارة البريطانية.

أدّت التدفّقات الجديدة للثروة والمعلومات والصور الجديدة من المعرفة العلمية إلى تحفيز الابتكار في الزراعة والتعدين وبناء السفن والملاحة وشق القنوات وغير ذلك من المجالات. وقد حدث هذا تحديدًا في أوروبا الغربية. فبعد العام ١٥٠٠، بدأت الثروة والسلطة في التحوّل بسرعة، وسريعًا ما صارت المناطق المغمورة سابقًا في أوروبا وعلى جانبي الأطلسي هي المحور الجديد، ومركز أول التدفّقات العالمية للثروة والمعلومات والسلطة.

الوقود الأحفوري: اختراع ضخم

أدى العالم المعولَم وكذلك طبقة روّاد الأعمال متزايدة الثروة والنفوذ والمدعومة من جانب الحكّام المحليين إلى تنشيط التجارة والابتكار، خاصّة في منطقة الأطلسي. لكن كما رأينا فإن بعض الابتكارات تُحدِث تغييرات جذرية أعمق من غيرها. ومما لا يثير المفاجأة، في ضوء الثروة الأوروبية المتزايدة وديناميكية ريادة الأعمال وتدفّقات المعلومات فإن الابتكارات الكبيرة التي خلقت العالم الحديث ظهرت إلى الوجود هنا، وليس في المناطق المحورية القديمة التي امتدت عبر أوراسيا من البحر المتوسط وعبر العالم الإسلامي إلى الصين.

كانت أهم الابتكارات الضخمة هي تلك التي حرّرت تدفّقات جديدة من الطاقة، كالاندماج أو التمثيل الضوئي. تعد الزراعة أحد الابتكارات الضخمة لأنها سمحت للمزارعين باستغلال حصص أكبر من تدفّقات الطاقة من عمليات التمثيل الضوئي الحديثة. وهذه التدفّقات المتزايدة دفعت التغييرات المضطربة للحقبة الزراعية. لكن كانت ثمة حدود لتدفّقات الطاقة الآتية من الزراعة، لأنها لم تستغل إلا ضوء الشمس المُقتنَص حديثًا وحسب. فإذا أحرقت قطعة من الحطب أو أكلت جزرة أو سخّرت حصانًا لحراثة ارض، فأنت بهذا تستغل تدفّقات الطاقة المُقتنصَة من ضوء الشمس في الأشهر الاثنتي عشر الماضية، أو العقود الماضية على أحسن تقدير. وبحلول أواخر القرن الثامن عشر، بدأ بعض الاقتصاديين في أوروبا الغربية يشكون في أن المجتمعات الأوروبية كانت آخذة في استغلال هذه التدفّقات حتى حدودها القصوى. كانت حساباتهم بسيطة؛ فتدفّقات الطاقة التي حرّكت المجتمعات الإنسانية كانت آتية من الأراضي المزروعة بالمحاصيل أو الغابات، مع نسبة إضافية من الرياح والأمطار. وهكذا فقد كان النمو يعني العثور على المزيد من الأراضي الصالحة للزراعة والغابات. وبحلول عام ١٨٠٠، بدا أن غالبية الأراضي الصالحة للزراعة قد زُرعَت بالفعل. وقد ذهب آدم سميث، مؤسّس علم الاقتصاد الحديث، إلى أن المجتمعات سوف تستخدم سريعًا كلّ الطاقة المتاحة. وبعد ذلك سوف يتوقّف النمو، وتنخفض الأجور، وكذلك عدد السكان بينما تواجه المجتمعات الزراعية مباشرة قيود تدفقات الطاقة التي تواجهها كل الكائنات الأخرى التي ملأت الحيز الذي تعيش فيه. وبدا أن بعض المجتمعات، مثل هولندا وإنجلترا، تدفع هذه الحدود بالفعل. ففي هولندا، تعيّن على المزارعين تجفيف البحر للحصول على أراضٍ للزراعة، بينما واجهت انجلترا نقصًا متزايدًا في

أخشاب التدفئة والمساكن وبناء السفن. وبحلول زمن آدم سميث، كما يقول ألفريد كروسبي، «كانت البشرية قد اصطدمت بسقف استغلالها لطاقة الشمس».

أدّت الضغوط الهادفة إلى العثور على مصادر جديدة للطاقة في نهاية المطاف إلى الابتكارات الضخمة التي نصفها اليوم باسم ثورة الوقود الأحفوري. وقد أتاحت هذه الابتكارات للبشرية تدفّقات جديدة للطاقة أعظم بكثير من تلك التي تتيحها الزراعة؛ الطاقة الحبيسة داخل الوقود الأحفوري بأنواعه، الطاقة التي لم تتراكم على مدار عقود وحسب، وإنما منذ العصر الفحمي، منذ أكثر من ٣٦٠ مليون عام. ففي طبقات الفحم والنفط والغاز الطبيعي تكمن ما قيمته مئات الملايين من الأعوام من ضوء الشمس المدفون في صورة صلبة وسائلة وغازية. وبغية استيعاب مقدار الطاقات الحبيسة داخل الوقود الأحفوري، تخيّل أنك تحمل عربة مليئة بالركاب على رأسك وتجري بسرعة كبيرة للغاية لعدة ساعات، ثم ذكِّر نفسك بأن بضعة جالونات من البنزين تحمل هذا القدر من الطاقة وأكثر (لأن الكثير من الطاقة يُهدَر). ومثل العثور على منجم ذهب، ولّد منجم الطاقة هذا أشكالًا محمومة وفوضوية في أحيان كثيرة من التغيير وخلق ودمر مصائر أفراد ودول ومناطق بأكملها. وقد رأى تشارلز ديكنز وفريدريك إنجلز وغيرهما الثمن الرهيب الذي دفعه الكثيرون مقابل هذه التغييرات. لكن من رحم هذه الفوضى وُلد عالم جديد بالكامل.

بدأت التحوّلات الجذرية بطفرات تكنولوجية حوّلت طاقة الفحم إلى طاقة ميكانيكية رخيصة قامت بتشغيل المصانع والقاطرات والسفن والتوربينات. كانت مجتمعات عدة تعلم بالفعل بشأن الفحم لكن كان من الصعب استخراجه ونقله، كما كان قذرًا ويصدر رائحة سيئة عند احتراقه، لذا كانت غالبية الناس في

المجتمعات الزراعية تفضّل الحصول على الطاقة الحرارية من الخشب، لكن في بعض المناطق كان الخشب نادرًا. وفي إنجلترا، ومع زيادة السكان، توسّعت المدن (خاصة لندن)، وازدهرت التجارة، وبدأ الطلب على الطاقة يفوق المعروض. كانت إنجلترا واحدة من أوائل الدول في العالم التي تشعر بأزمة طاقة. لكن خلافًا لكثير من الدول كان لدى إنجلترا دعم كبير؛ إذ كان لديها احتياطيات ضخمة من الفحم على مقربة من السطح، وكثير منه يقع بالقرب من الأنهار أو على السواحل، لذا كان بالإمكان نقله بسعر رخيص وبسهولة بحرًا أو عن طريق القنوات إلى المدن الكبير، من بينها لندن. بدأت المصانع والمنازل في التحوّل إلى الفحم. وبحلول

القرن السابع عشر كانت مصانع التخمير ومصانع الطوب والمخابز تستخدم الفحم، وبدأ أهل لندن يشكون من هواء لندن الملوث. بحلول العام ١٧٠٠، كان الفحم ينتج نحو ٥٠ بالمائة من طاقة إنجلترا، وبحلول العام ١٧٥٠ كان يزوّد طاقة تعادل أربعة ملايين هكتار من الغابات؛ أي ما يعادل نحو ١٥ بالمائة من مساحة إنجلترا وويلز. وقد شجّع الاعتماد على الفحم أولئك الذين ينقّبون عنه وينقلونه ويبيعونه على إنتاج المزيد من الفحم وبسعر رخيص.

لكن كانت ثمة مشكلة. فبينما زاد الطلب على الفحم، تعيَّن على مستخرجي الفحم حفر مناجم أعمق، وهذه سرعان ما كانت تمتلئ بالماء، لذا كان الحصول على مزيد من الفحم يعتمد على تصنيع مضخات أكثر كفاءة لتفريغ المناجم من الماء. وفي إنجلترا كانت الدوافع لحل هذه المشكلة التكنولوجية أكبر من أي مكان آخر، لذا صار تصميم مضخات رخيصة وذات كفاءة هدفًا أساسيًّا لرواد الأعمال والمخترعين. إن المزيج المتمثّل في العلم الحديث والمهارات الميكانيكية الواسعة الانتشار وفّر الخلفية للفكرة المطلوبة لحلّ المشكلة. وقد بدأ علماء القرن السابع عشر في فهم الكيفية التي يعمل بها الضغط الجوي، وبحلول القرن الثامن عشر كانت هذه المعرفة تُستخدَم في محركات نيوكمان البخارية المستخدمة في ضخ الماء من مناجم الفحم. غير أن محرّك نيوكمان البخاري كان غير كفؤ، وكان يستهلك كميات كبيرة من الفحم، لذا لم يكن له استخدام تجاري إلا في مناجم الفحم وحسب، حيث الفحم رخيص. علم المستثمرون والمخترعون والمهندسون أن بإمكان المضخّات المحسَّنة أن تجلب أرباحًا هائلة وتُحدث ثورة في المعروض من الفحم للمنازل والمصانع الإنجليزية.

كان جيمس واط، المهندس الذي حلّ في النهاية هذه المشكلات التقنية، صانع أدوات اسكوتلندي على صلة وثيقة بالمهندسين والعلماء ورجال الأعمال. وبينما كان يتنزّه في صبيحة يوم أحد في العام ١٧٦٥، أدرك واط أن بإمكانه جعل محرّك نيوكمان أكثر كفاءة عن طريق إضافة أسطوانة ثانية تعمل عمل المكثف. غير أن عملية بناء المحرّك المحسَّن احتاجت إلى علم وتكنولوجيا متقدمَيْن علاوة على القدرة على تصميم وثَقْب مكابس دقيقة يمكنها تحمل الضغط العالي. كانت المهمة شاقة ومكلفة، ومع ذلك فإن الداعم الرئيسي لواط، ماثيو بولتون، كان يشعر بوجود فرصة واستثمر بسخاء في أبحاث واط. لقد أدرك الأرباح العظيمة التي يمكن تحقيقها من ماكينة تحوِّل طاقة الفحم إلى طاقة ميكانيكية بتكلفة معقولة. وبحلول

العام ١٧٦٩ كان واط قد حصل على أول براءة اختراع لتصميمه، وكانت المنافسة حامية لدرجة أنه بعد أن تفاخر بولتون بنموذج واط الأولي أمام السفير الروسي في لندن، تلقّى واط عرضًا مغريًا من الحكومة الروسية. ورغم أن واط فكر جديًّا في قبول العرض فإن بولتون أقنعه بالبقاء. وفي العام ١٧٧٦ اكتمل العمل.

أعطى محرك جيمس واط البخاري لمحة أولى عن تدفّقات الطاقة الهائلة التي من شأنها أن تغيّر المجتمعات الإنسانية جذريًّا في غضون قرنين. ومثل طاقات التنشيط التي تبدأ التفاعلات الكيميائية، وفرت الطاقة الآتية من الوقود الحفري دفقة من الطاقة بدأت المكافئ التكنولوجي لتفاعل متسلسل عالمي. وفي غضون عشرين عامًا، كان ثمة خمسمائة من هذه الآلات الجديدة تعمل في إنجلترا، وبحلول ثلاثينيات القرن التاسع عشر كانت المحرّكات البخارية العاملة بالفحم هي المصدر الرئيسي للطاقة في الصناعة البريطانية. ارتفع استهلاك الطاقة في إنجلترا بشدة، وبحلول العام ١٨٥٠ كانت إنجلترا وويلز تستهلكان من الطاقة تسعة أضعاف ما تستهلكه إيطاليا، وكان باستطاعة رواد الأعمال والمصانع الإنجليزية الحصول على قوة محركة ذات قدرة هائلة؛ فكان بمقدور القاطرات البخارية توليد مائتي ألف واط من الطاقة (نعم، سُميت وحدة الطاقة على اسم جيمس واط)، أو نحو مائتي مرة قدر الطاقة التي يولّدها فريق حرث مكوّن من جوادين، وهو أحد أهم القوى المحركة في الحقبة الزراعية. كان متاحًا من الطاقة الرخيصة قدر غير مسبوق. ازدهرت الصناعة الإنجليزية، وكان الفحم يولّد طاقة يمكن استخلاصها من غابات تغطي مساحة إنجلترا وويلز مرة ونصف.

بدايات التصنيع

كانت إنجلترا أول بلد يستفيد من ثروة الطاقة التي أتى بها الوقود الأحفوري، وانطلقت عملية الإنتاج. وبحلول منتصف القرن التاسع عشر كانت إنجلترا تنتج خُمس الناتج المحلي الإجمالي العالمي، ونحو نصف انبعاثات الوقود الأحفوري العالمية. ومما لا يثير المفاجأة فقد بدأت مستويات ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي في الارتفاع منذ منتصف القرن التاسع عشر. ومنذ زمن مبكر، في العام ١٨٩٦ تحديدًا، أدرك الكيميائي السويدي سفانت أرينيوس أن ثاني أوكسيد الكربون كان أحد غازات الدفيئة، وأنه يجري توليده بكميات هائلة تكفي للبدء في تغيير المناخات العالمية.

غير أن هذه المخاوف كانت متروكة للمستقبل. (في الواقع كان أرينيوس يظن أن الاحترار العالمي كان تطورًا إيجابيًّا لأنه ربما يمنع حلول عصر جليدي جديد).
في الوقت ذاته، أراد رواد الأعمال والحكومات في الدول الأخرى المشاركة في منجم الطاقة الرخيصة هذا، وحاولوا التماس أو استعارة أو سرقة التكنولوجيا الجديدة. وسريعًا صارت المحرّكات البخارية تُصنَع في أوروبا وفي الولايات المتحدة المستقلّة حديثًا. وانتشار المحركات حفَّز موجة جديدة من الطفرات التكنولوجية، مثل القاطرات والسفن البخارية، التي أدت إلى تقليل تكاليف النقل وتسريع وتيرة ابتكارات أخرى، خاصة في مجال تصنيع الحديد والصلب المطلوبين من أجل عربات وقضبان السكك الحديدية وهياكل السفن. وأخذ رواد الأعمال والمهندسون والعلماء يستكشفون طرقًا جديدة لاستغلال الطاقة الرخيصة الآتية من المحركات البخارية في عملية البناء وصناعة النسيج.
كان هناك العديد من حلقات التغذية الراجعة القوية؛ إذ أتاحت المحرّكات البخارية القوية الوصول إلى مناجم أعمق، وهو ما قلل من تكلفة استخراج الفحم، وبذا زادت كمية الفحم المُستخرَج خمسين ضعفًا بين العامين ١٨٠٠ و١٩٠٠. جعل الفحم الرخيص المحرّكات البخارية اقتصادية أكثر، بينما خفّضت القاطرات والسفن البخارية تكلفة نقل الماشية والفحم والمنتجات والبشر برًّا وبحرًا، وهو ما أدى إلى تنشيط التجارة العالمية. كما زادت السكك الحديدية من الطلب على الحديد والصلب، وأدت الابتكارات في عملية إنتاج الصلب إلى أن صار من الاقتصادي للمرة الأولى استخدام الصلب في الإنتاج الواسع النطاق للسلع أمثال علب القصدير، وهي طريقة جديدة لحفظ وتخزين الأطعمة. كما كانت هناك تأثيرات جانبية غير متوقّعة؛ إذ أدى استخدام البخار في تدوير وحياكة المنسوجات إلى زيادة الطلب على القطن الخام، وهو ما أدى إلى تنشيط زراعة القطن في الولايات المتحدة وآسيا الوسطى ومصر. كما زاد الانتاج الصناعي للمنسوجات من الطلب على المنتجات الفرعية ذات الصلة كالأصباغ الصناعية والمبيِّضات، وهو ما أعطى دفعة لصناعة الكيماويات الحديثة، التي أتت العديد من منتجاتها من الفحم.
شجعت الطاقة الرخيصة التجريب والاستثمار في العديد من التكنولوجيات الجديدة، وأحد أهم هذه التكنولوجيات كان الكهرباء. وفي عشرينيات القرن التاسع عشر، أدرك مايكل فاراداي أن من الممكن توليد تيار كهربي عن طريق تحريك ملف معدني داخل حقل مغناطيسي. وقد صارت عملية توليد الكهرباء الواسعة

النطاق ممكنة في ستينيات القرن التاسع عشر بفضل اختراع المولّدات التي تحرّكها المحركات البخارية. ومثل مضخّات البروتونات وجُزَيْئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات الموجودة في أوائل بدائيات النوى، وفّرت الكهرباء والمحرّكات الكهربائية طرقًا جديدة فعّالة لتوزيع الطاقة. فالقدرة، عند تحويلها إلى كهرباء، يمكن إرسالها بثمن بخس إلى كل من المصانع والمنازل. غيّرت المصابيح الكهربية شكل الحياة وأعمال المصانع عن طريق تحويل الليل إلى نهار، وبدأت المدن والطرق العامة والموانئ تُضاء ليلًا. كما أحدثت الكهرباء كذلك ثورة في الاتصالات. ففي مطلع القرن التاسع عشر، كانت أسرع وسيلة لإرسال رسالة برًّا هي استخدام مرسال يركب جوادًا، وقد أتاح التلغراف، المُختَرَع العام ١٨٣٧، الاتصال بسرعة الضوء. وبنهاية القرن التاسع عشر أتاحت الهواتف وأجهزة اللاسلكي إرسال محادثات حقيقية بصورة شبه فورية عبر مسافات شاسعة.

أحدثت التكنولوجيات الجديدة ثورة في الحرب والأسلحة؛ إذ نقلت السكك الحديدية والسفن البخارية

الجيوش والأسلحة بسرعات غير مسبوقة. وفي العام ١٨٦٦ اخترع ألفريد نوبل الديناميت، وهو مادة متفجّرة قوية. وإلى جانب اختراع مسدسات يدوية ومدافع رشاشة محسَّنَة، زادت المتفجرات من قدرة القتل الخاصة بكل جندي. وقد صارت القدرة المدمّرة للأسلحة الصناعية واضحة خلال الحرب الأهلية الأمريكية، أولى حروب الوقود الأحفوري الحقيقية، وقد أدّت السفن ذات المحركات البخارية والهياكل المصنوعة من الصلب والمزودة بأسلحة حديثة إلى تغيير الحرب تغييرًا جذريًّا، ومكّنت بريطانيا من قهر بحرية الصين الإمبراطورية خلال حروب الأفيون. وفي أواخر القرن التاسع عشر، بدأت دول أوروبا المتخلّفة سابقًا في غزو بقية أجزاء العالم خلال حقبة الاستعمار، وكانت مدعومة في ذلك بالثروات والتكنولوجيات وتدفقات الطاقة التي جلبتها الثورة الصناعية.

وتفسّر عدة حلقات من التغذية الراجعة، أبرزها تلك المتّصلة بالتدفقات الجديدة للطاقة، الديناميكية الاستثنائية للثورة الصناعية، والثروة والسلطة المتزايدتين بسرعة لأولى المناطق التي تحوّلت إلى التصنيع. فقد أتاحت الطاقة الرخيصة وحفّزت الابتكار والاستثمار في بلد تلو الآخر وفي مناحٍ مختلفة من الإنتاج والصناعة. وفي نهاية المطاف، شجّعت الطاقة الرخيصة الآتية من الفحم الابتكارات التي حشدت صورًا جديدة من طاقة الوقود الأحفوري الآتية من النفط.

كان النفط مألوفًا، شأنه شأن الفحم؛ إذ كان يُستخرَج من الأماكن التي كان يتسرّب منها إلى السطح ويُستخدَم في صنع البوتامين والعقاقير، وكذلك في القنابل الحارقة. وفي منتصف القرن التاسع عشر، بدأ استخدام النفط، على صورة كيروسين، في الإضاءة كبديل لزيت الحوت، الذي كانت أسعاره آخذة في الارتفاع نتيجة قلة عدد الحيتان الناتج عن الإفراط في صيدها. غير أن النفط المعدني كان شحيحًا. وتشكّك البعض في وجود كميات كبيرة في أعماق الأرض يمكن الوصول إليها باستخدام أساليب الحفر المستوردة من الصين، حيث صُمِّمَت مثاقيب خاصة لاستخلاص الملح الصخري. والمعروف أن النفط كان يعثر عليه أحيانًا أولئك الذين يحفرون بحثًا عن الملح. وقد جرت أولى المحاولات الجادة للحفر بحثًا عن النقط على يد إدوين دريك في بلدة تيتوسفيل الفقيرة في بنسلفانيا بداية من العام ١٨٥٧. وفي ٢٧ أغسطس ١٨٥٩، وقبل أن ينفد التمويل مباشرة، وصل مثقاب دريك إلى النفط. سارع المنقبون إلى شراء الأراضي، وفي غضون خمسة عشر شهرًا كان هناك خمسٌ وسبعون بئرًا في تيتوسفيل وحولها. وقد كتب أحد الزائرين: «كانوا يقايضون الأسعار في المطالبات والأسهم، ويبيعون ويشترون المواقع، ويبلغون عن عمق الآبار أو مظهرها أو إنتاجها، إلخ، إلخ. ومَن يغادرون اليوم كانوا يخبرون غيرهم عن البئر الذي رأوه ينتج ٥٠ برميلًا من النفط الصافي يوميًّا ... وترسل القصة المزيد من الأشخاص غدًا... لم يسبق لقفير نحل وقت الاحتشاد أن كان مستثارًا أو صاخبًا إلى هذه الدرجة». وفي العام ١٨٦١ عثر المنقبون على أول بئر نفط غزيرة الإنتاج تستطيع ضخ النفط تحت ضغطها الخاص، إلى درجة التسبب في انفجار قاتل عندما كان الغاز الطبيعي المندفع من البئر يتعرّض للاشتعال. وقد زاد الانتاج إلى ثلاثة آلاف برميل يوميًّا.

حقّق الكثيرون الثراء من النفط، لكن لم يكن إدوين دريك من بينهم؛ إذ توفي فقيرًا العام ١٨٨٠ رغم حقيقة أنه ساعد في إطلاق الفصل التالي من ثورة الوقود الأحفوري.

الفصل الحادي عشر : الأنثروبوسين: المحطّة الثامنة

لم نعد في عصر الهولوسين، بل نحن في عصر الأنثروبوسين.
بول كروتزين
عبارة تفوّه بها غاضبًا في أحد المؤتمرات في العام ٢٠٠٠

الإنسان، جامع الطعام، يعاود الظهور على نحو مغاير على صورة جامع للمعلومات. وفي هذا الدور ليس الرجل الإلكتروني رحَّالةً بدرجة أقل من أسلافه في العصر الحجري القديم.
مارشال ماكلوهان، UNDERSTANDING MEDIA

في القرن العشرين، بدأنا نحن البشر في تغيير البيئة المحيطة بنا، ومجتمعاتنا، بل وأنفسنا. ومن دون أن نقصد ذلك، فقد أحدثنا تغييرات سريعة وضخمة للغاية إلى درجة أن نوعنا صار يكافئ قوةً جيولوجية جديدة. ولهذ السبب بدأ كثيرون من الباحثين يذهبون إلى أن كوكب الأرض دخل عصرًا جيولوجيًّا جديدًا، هو عصر الأنثروبوسين، وترجمتها «عصر البشر». وهذه هي المرة الأولى خلال تاريخ الغلاف الحيوي الممتد لأربعة مليارات عام التي أصبح فيها نوع بيولوجي وحيد هو القوةَ المهيمنة على التغيير. وفي غضون قرن أو نحو ذلك وحسب، واستنادًا إلى تدفقات الطاقة الهائلة والابتكارات المذهلة لثورة الوقود الأحفوري، تبوّأنا نحن البشر دور ربابنة الكوكب من دون أن نعرف حقًّا ماهية الأدوات التي ينبغي النظر إليها، أو الأزرار التي ينبغي الضغط عليها، أو الموضع الذي نريد الرسو فيه. إنها منطقة جديدة للبشر، وللغلاف الحيوي كله.

التسارع العظيم

إذا ابتعدنا عن التفاصيل، سيبدو عصر الأنثروبوسين أشبه بدراما من ثلاثة فصول اكتملت إلى الآن علاوة على مزيد من التغييرات التي لا تزال جارية.

بدأ الفصل الأول في منتصف القرن التاسع عشر حينما بدأت تكنولوجيات الوقود الأحفوري في تغيير العالم أجمع تغييرًا جذريًّا. فقد حصلت بضع دول في منطقة الأطلسي على قدرة وثروة هائلتين علاوة على أسلحة جديدة مريعة للحرب. انفتحت فجوة ضخمة بين قوى الوقود الأحفوري الأولى وبقية العالم، واستمرت هذه الفجوة في القدرة والثروة لأكثر من قرن ولم تبدأ في الانغلاق إلا في أواخر القرن العشرين.

أوجدت هذه الاختلافات عالمًا إمبراطوريًّا غير متكافئ في القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. وفجأة، بدأت دول الأطلسي، التي كان لها دور هامشي خلال الحقبة الزراعية، في الهيمنة على أجزاء كثيرة من العالم، وأحيانًا حُكمها، بما في ذلك غالبية القارة الأفريقية وكثير من المناطق الآسيوية التي حكمتها الإمبراطوريات الهندية والصينية. وخارج المحور الأطلسي الجديد، كان التأثير الأول لتكنولوجيات الوقود الأحفوري مدمّرًا بالأساس، لأن التكنولوجيات الجديدة جاءت برفقة الغزاة الأجانب. فالسفينة «نيميسيس»، وهي أول سفينة مقاتلة ذات هيكل معدني ومحرّك بخاري، ساعدت إنجلترا في السيطرة على الموانئ الصينية خلال حرب الأفيون الأولى، بين العامين ١٨٣٩ و١٨٤٢، وذلك بفضل مدافعها السبعة عشر وقدرتها على الإبحار بسرعة في المياه الضحلة. كانت البحرية الصينية عديمة الحيلة في مواجهة مثل هذه الأسلحة، رغم أنها كانت واحدة من أعظم القوى البحرية في العالم.

وفي غضون عقود، كانت القدرة العسكرية والتجارية الأوروبية قد قوَّضت الدول وطرق الحياة القديمة. فقد تسببت عملية إنتاج المنسوجات باستخدام آلات الغزل والنسيج التي تديرها المحركات البخارية في تدمير أعمال مُنتجي المنسوجات الفنية في الهند، التي كانت المُنتِج الأول للاقمشة القطنية خلال الحقبة الزراعية. وبينما اكتسبت إنجلترا السيطرة السياسية والعسكرية على شبه القارة الهندية، فقد أبقت على هذه الاختلالات في التوازن عن طريق إبقاء المنسوجات الهندية بعيدًا عن الأسواق البريطانية. بل وحتى تشييد شبكة السكك الحديدية الضخمة في الهند أفاد بريطانيا بأكثر مما أفاد الهند؛ فقد كانت غالبية القضبان والمسارات تُصنَع في بريطانيا، وكانت شبكة السكك الحديدية الهندية الضخمة مصمَّمة بالأساس لنقل القوات البريطانية سريعًا وبتكلفة زهيدة، وتصدير المواد الخام الهندية الرخيصة، واستيراد السلع الإنجليزية المُصنَّعة. وفي الأمريكتين وأفريقيا وآسيا، شجّع الطلب المتزايد على السكر والقطن والمطاط والشاي وغير ذلك من المواد الخام على نموّ المزارع المدمِّرة للبيئة، والتي كان قوامها عادة القوى العاملة الأشبه بالرقيق. وفي الحروب التي قابلت فيها المدافع الرشاشة الحِراب والرماح، التهمت القوى الأوروبية أفريقيا وحكمتها على مدار غالبية القرن.

وقد شجعت الغزوات الاقتصادية والسياسية والعسكرية الأوروبية الإحساس بوجود تفوّق أوروبي أو غربي، وبدأ كثيرون من الأوروبيين يرون انتصاراتهم

بوصفها جزءًا من المهمة الأوروبية أو الغربية المتمثّلة في إضفاء التحضّر والحداثة على بقية العالم. وفي نظرهم، كان التصنيع علامة على التقدم. لقد كان جزءًا من المهمة التحويلية، التي دُعي إليها في بادئ الأمر خلال عصر التنوير، والمتمثّلة في «تحسين» العالم، وجعله مكانًا أفضل وأغنى وأكثر تحضرًا للبشر.

كان الفصل الثاني من عصر الأنثروبوسين عنيفًا بشكل بالغ، وقد بدأ في أواخر القرن التاسع عشر واستمر حتى منتصف القرن العشرين. وخلال هذا الفصل انقلبت قوى الوقود الأحفوري الأولى بعضها ضد بعض. ففي أواخر القرن التاسع عشر بدأت الولايات المتحدة وفرنسا وألمانيا وروسيا واليابان في تحدّي الريادة الصناعية البريطانية. ومع تزايد حدة المنافسة، حاولت القوى العظمى حماية أسواقها ومواردها بإبعاد المنافسين، فانحسرت التجارة العالمية. وفي العام ١٩١٤ تحوّلت المنافسة إلى حرب صريحة. وعلى مدار ثلاثين عامًا حشدت الحروب العالمية المدمّرة التكنولوجيات الجديدة والثروة والزيادة السكانية المتزايدتين في العصر الحديث.

شملت هذه الحروب أجزاءً أخرى من العالم أيضًا، إذ اشتعلت الحروب في الصين واليابان بنفس القسوة التي دارت بها رحاها في روسيا وألمانيا. وبينما خيّمت شبورة الحرب الحمراء على أوروبا وأفريقيا وآسيا والمحيط الهادئ، تنافست الحكومات المتناحرة على تطوير المزيد من الأسلحة المدمرة. منح العلم الأطراف المتصارعة أسلحة جديدة، واستغل بعضها الطاقات الكامنة داخل نوى الذرّات. وفي ٦ أغسطس ١٩٤٥، حلقت قاذفة قنابل من طراز بوينج بي-٢٩ سوبر فورترس من جزر ماريانا في المحيط الهادئ وأسقطت قنبلة ذرية على مدينة هيروشيما اليابانية. دمرت القنبلة المدينة وقتلت ثمانين ألف شخص. (وفي غضون عام، مات سبعون ألف شخص آخر من جراء الإصابات والإشعاع). وفي ٩ أغسطس ١٩٤٥ أُلقيت قنبلة مشابهة على مدينة ناجازاكي.

يتضمّن الفصل الثالث النصف الثاني من القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين. من رحم حمّام الدماء الذي شهدته الحربان العالميتان خرجت الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي كقوتين عظميين. كان هناك العديد من الحروب ذات النطاق المحلي، وكان أكثرها يهدف إلى الإطاحة بالحكم الاستعماري الأوروبي، لكن لم يكن ثمة حروب دولية كبرى خلال فترة الحرب الباردة. ففي ذلك الوقت فهمت القوى العظمى أنه لن يكون ثمة منتصر في الحرب النووية، ومع ذلك فقد

كانت هناك أوقات شارفت فيها الحروب النووية على الاندلاع، وفي أعقاب أزمة الصواريخ الكوبية للعام ١٩٦٢، أقر الرئيس جون كينيدي بأن احتمالات نشوب حرب نووية شاملة كانت «بين واحد إلى ثلاثة وواحد إلى اثنين».

شهدت العقود الأربعة التالية على الحرب العالمية الثانية أكبر دفعة من النمو الاقتصادي شهدها تاريخ البشر. كانت هذه هي حقبة التسارع العظيم.

تجدّدت التبادلات التجارية العالمية واشتدت. ففي الأربعين عامًا السابقة على الحرب العالمية الأولى، وفق أحد التقديرات المؤثّرة، زادت التجارة العالمية في الحجم بمعدل مقداره ٣,٤ بالمائة سنويًّا، وبين العامين ١٨١٤ و١٩٥٠ انخفض هذا المعدل إلى ٠,٩ بالمائة سنويًّا، ثم في الفترة بين العامين ١٩٥٠ و١٩٧٣ ارتفع إلى نحو ٧,٩ بالمائة سنويًّا قبل أن ينخفض قليلًا إلى نحو ٥,١ بالمائة سنويًّا بين العامين ١٩٧٣ و١٩٩٨ . وفي العام ١٩٤٨، وقَّعت عشرون دولة على الاتفاقية العامة للتعرفة الجمركية والتجارة (الجات)، التي خفّضت الحواجز التي تعوق التجارة الدولية. أضحت تكنولوجيات الحرب تُستخدَم الآن في أغراض سلمية. وأسهم النفط والغاز الطبيعيين في ثروة الطاقة التي بدأت مع القرن التاسع عشر، وكذلك الطاقة النووية، وهي النظير السلمي للأسلحة النووية. ارتفعت الإنتاجية بقوة، أولًا في اقتصادات الوقود الأحفوري الرائدة، ثم في كل مكان آخر بعد ذلك. كما ارتفع الاستهلاك أيضًا مع ارتفاع الناتج وسعي المنتجين إلى فتح أسواق جديدة في الداخل والخارج. وفي الدول الأكثر ثراءً، كان هذا هو عصر السيارات الخاصّة والتلفاز وحلم امتلاك منزل في الضواحي وفي النهاية الحاسبات الآلية والهواتف الذكية والإنترنت. بدأت طبقة وسطى جديدة في الظهور. كان هذا أيضًا هو الوقت الذي بدأت فيه الثورة الصناعية في الانتشار إلى ما وراء المناطق الصناعية القديمة. وبحلول أوائل القرن الحادي والعشرين، كانت التكنولوجيات الصناعية قد غيّرت جذريًّا كلًّا من آسيا وأمريكا الجنوبية وأجزاء من أفريقيا، بنفس الاكتمال والسرعة التي غيرت بها المجتمعات الأوروبية في الماضي جذريًّا. ومع اتجاه مناطق أخرى من العالم إلى التصنيع، زادت ثرواتها ونفوذها. وبدأ يظهر، مجددًا، عالم ذو مراكز متعدّدة للثروة والنفوذ. ففي غضون مائتين وخمسين عامًا بعد اختراع أول محرّك بخاري حديث، غيرت تكنولوجيات الوقود الأحفوري جذريًّا كوكبنا بأسره.

خلال فترة التسارع العظيم، حشد البشر الطاقة والموارد بمعدلات غير مسبوقة لدرجة أنهم بدأوا في تغيير الغلاف الحيوي ذاته. ولهذا السبب يُرجِع كثيرون من الباحثين فجر عصر الأنثروبوسين إلى منتصف القرن العشرين.

تغيير العالم جذريًّا: التكنولوجيات والعلم

كان الابتكار، المدفوع بالطاقة الرخيصة، هو المحرك الأساسي للتغيير. وقد أوجدت الابتكارات فروقًا أكثر حدة في الثروة والنفوذ شجّعت على المنافسة، وهو ما حفّز الابتكار، وخلق حلقة تغذية راجعة قوية. سعى رواد الأعمال والحكومات وراء الابتكارات التي ربما تمنحهم مزية تفوّق صناعية أو عسكرية واستثمروا في الشركات وأبحاث العلماء وفي المدارس والجامعات والمؤسسات البحثية التي يمكنها أن تنتج وتنشر تكنولوجيات ومهارات جديدة.

أعطت حروب بدايات القرن العشرين دفعة قوية لعملية الابتكار. فخلال الحرب العالمية الأولى، عانت ألمانيا من نقص في المخصِّبات الطبيعية، وتوصّل علماء ألمان، بقيادة فريتز هابر وكارل بوش، إلى طريقة لاستخلاص النيتروجين من الهواء من أجل صنع مخصّبات اصطناعية. ليس النيتروجين نشطًا في التفاعل، لذا لم يكن هذا الأمر سهلًا. حلّت بدائيات النوى هذه المشكلة منذ مليارات الأعوام، غير أن هابر وبوش كانا أول كائنين متعدّدي الخلايا ينجحان في تثبيت النيتروجين الموجود في الغلاف الجوي. تستهلك عملية هابر-بوش كمية كبيرة من الطاقة للتغلّب على إحجام النيتروجين عن الاتحاد كيميائيًّا، لذا لم تكن ممكنة إلا في عالم الوقود الأحفوري. غير أن المخصّبات الاصطناعية القائمة على النيتروجين غيّرت جذريًّا من عملية الزراعة، ورفعت إنتاجية الأراضي الصالحة للزراعة في كل أنحاء العالم، وجعلت من الممكن إطعام عدة مليارات من الأشخاص. لقد حوّلت هذه العملية الوقود الأحفوري إلى طعام.

استُخدمَ الوقود الأحفوري السائل، النفط، للمرة الأولى في أواخر القرن التاسع عشر كبديل لزيت الحيتان المستخدم في الإضاءة. كما جرى تطوير أولى محركات الاحتراق الداخلي في ستينيات القرن التاسع عشر وسبعينياته، وكانت نموذجًا على توليد الطاقة الميكانيكية من النفط. وعلى العكس من المحرك البخاري، الذي كان مصدر الحرارة الخاصّ به مستقلًّا عن الأجزاء المتحرّكة للمحرّك، ففي محرّكات الاحتراق الداخلي كانت الطاقة المنبعثة من الوقود الأحفوري تحرك المكابس أو

الدوارات أو الشفرات التوربينية بصورة مباشرة. انتشرت محرّكات الاحتراق الداخلي بسرعة في أوائل القرن العشرين، وهو ما يرجع في الأساس إلى استخدامها في الحروب لنقل الجنود والمعدات ولتشغيل الدبابات الأولى. كما جرى استخدامها في أولى الطائرات الحربية، التي كانت بداية عملية إلقاء القنابل من السماء. وبمجرد انتهاء الحرب، تحوّل مصنعو السيارات والطائرات إلى الأسواق المدنية كي يخلقوا عالمًا يمتلك ويستخدم فيه المزيد من الأفراد السيارات أو يطيرون في الطائرات. كما تغيّرت التجارة العالمية جذريًّا بفعل ناقلات النفط وسفن الحاويات والطائرات الضخمة.

تكمن المعلومات في قلب تكنولوجيات عصر الأنثروبوسين. وقد تغيّرت تكنولوجيات المعلومات جذريًّا حين استثمرت الحكومات في عملية توسّع هائلة للتعليم والأبحاث، وموَّلَت الشركات والمؤسسات الأبحاث من أجل تطوير ونشر منتجات وخدمات جديدة. فمن أجل كسر شفرات الأعداء، موَّلَت الحكومات في زمن الحرب الأبحاث في مجال رياضيات المعلومات والحوسبة. وهذه الأبحاث، بالإضافة إلى اختراع الترانزستور في أواخر أربعينيات القرن العشرين، وضعت أساسات حوسبة العلم والأعمال والحكومات والتمويل وكل جوانب الحياة العادية في النصف الثاني من القرن. تطوّر علم الصواريخ أيضًا خلال الحروب، وفي النهاية أدى إلى إرسال البشر إلى الفضاء. كما أطلقت الحكومات في زمن الحرب برامج بحثية هائلة من أجل تطوير الأسلحة النووية، ونجح مشروع مانهاتن التابع للحكومة الأمريكية في تطوير القنابل الذرية الأولى، من بينها القنبلتان اللتان أُلقيتا على هيروشيما وناجازاكي في العام ١٩٤٥. أطلقت هذه القنابل الطاقات الناتجة عن شطر نوى اليورانيوم. وسريعًا ما طوّر الاتحاد السوفييتي أسلحته الذرية الخاصّة به، بمساعدة من المعلومات التي جرى تسريبها إليه من جواسيس بمشروع مانهاتن، وفي غضون عقد، كانت الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي يمتلكان قنابل هيدروجينية كذلك، والتي كانت تطلق طاقات أعظم عن طريق دمج البروتونات، وهي نفس الآلية التي تمنح الطاقة لكل النجوم. وقد اختُبِرَت القنبلة الهيدروجينية الأولى في العام ١٩٥٢.

كثيرٌ من هذه الابتكارات كان مُستوحًى من طفرات العلم الحديث التي جرت في بيئة محمومة من التعلّم الجمعي. فقد طور ألبرت آينشتاين النظرية النسبية في أول عقدين من القرن العشرين، وقام بتحسين فهم نيوتن للكون عن طريق إثبات أن

المادة والطاقة تتسببان في انحناء المكان والزمن، وهذا الانحناء هو مصدر الجاذبية الحقيقي. كما بيَّن آينشتاين أيضًا أن المادة يمكن تحويلها إلى طاقة، وتلك الفكرة قدّمت الأساس العلمي للأسلحة النووية والطاقة النووية. كما قدّمت فيزياء الكم، التي جرى تطويرها في الحقبة عينها، رؤية أعمق للعالم العجيب الاحتمالي للنوى الذريّة. ومن دون هذا الفهم، ما كان للأسلحة النووية والترانزستور وأنظمة تحديد المواقع العالمية والحاسبات الحديثة من وجود اليوم. وفي عشرينيات القرن العشرين، وجد عالم الفلك إدوين هابل أولى الأدلة على أن كوننا بدأ بانفجار عظيم. وفي علم الأحياء، تمّ الجمع بين فكرة الانتخاب الطبيعي لداروين مع فهم مندل لعملية الوراثة، وكذلك الأساليب الإحصائية المُحسَّنَة التي طورها آر إيه فيشر من أجل وضع أسس علم الوراثة الحديث.

هذه الرؤى والتكنولوجيات الجديدة وغيرها حفّزت الابتكار والنمو خلال فترة التسارع العظيم. فقد مكّنت الإنتاجية المتزايدة النمو السكاني من الزيادة بصورة غير مسبوقة؛ حيث كان يبلغ عدد البشر على الأرض في العام ١٨٠٠ تسعة ملايين شخص، وبحلول العام ١٩٠٠ وصل العدد إلى نصف مليار، وبحلول العام ١٩٥٠، حين كنتُ طفلًا، كان هناك ملياران ونصف المليار شخص، رغم الخسائر البشرية الفادحة للحروب، وخلال حياتي، زاد عدد البشر بنحو خمسة مليارات آخرين. هذه الأعداد الضخمة قد تحيّر العقل، لذا يجدر أخذ بعض الوقت لاستيعاب ما تعنيه. فخلال المائتي عام المنقضية منذ العام ١٨٠٠، زاد عدد البشر بأكثر من ستة مليارات نسمة، وكل شخص إضافي يجب إطعامه وكساؤه وتوفير المأوى له وتوظيفه، وأغلبهم يتعيّن تعليمهم. وقد كان التحدّي المتمثّل في إنتاج ما يكفي من الموارد في مائتي عام فقط لدعم الستة مليارات شخص الإضافيين تحديًا هائلًا بحق.

ومن المثير للذهول أن هذا التحدّي جرى التغلّب عليه بفضل التكنولوجيات الحديثة والوقود الأحفوري الحديث والمهارات الإدارية الحديثة. فقد ارتفعت الإنتاجية ارتفاعًا هائلًا في الزراعة والتصنيع والنقل. ورغم أن الغذاء وغيره من الموارد لم يصل دومًا إلى كل الذين يحتاجونه، فقد أُنتِج ما يكفي من الغذاء لإطعام أكثر من سبعة مليارات شخص. وقد تمثّلت التغييرات المحورية في إنتاج المخصّبات الاصطناعية ومبيدات الآفات واستخدام ماكينات الزراعة العاملة بالوقود الأحفوري وبناء الآلاف من سدود الري وإنتاج محاصيل جديدة معدلة وراثيًّا. وقد

تسبّبت تكنولوجيات الزراعة الجديدة في استصلاح أراضٍ جديدة وزيادة الرقعة الزراعية من نحو نصف مليار هكتار في العام ١٨٦٩ إلى نحو ثلاثة أضعاف هذا الحجم في العام ١٩٦٠ . كما اصطادت مراكب الصيد المزوَّدة بمحركات ديزل قوية ومعدات رصد بالسونار وشبكات ضخمة، غالبية الأسماك
في المناطق التي تصطاد فيها. وقد ارتفعت حصيلة صيد الأسماك من تسعة عشر مليون طن إلى أربعة وتسعين مليون طن في الفترة بين العامين ١٩٥٠ و٢٠٠٠، رغم أن الإفراط في الصيد يعني أن الكثير من المصائد معرضة الآن لخطر الانهيار.

أتاحت تكنولوجيات المعلومات المحسَّنَة جمع وتخزين وتتبّع والاحتفاظ بكميات هائلة من المعلومات التي تحرّك الابتكار وتحافظ على سير الحياة في المجتمعات الحديثة شديدة التعقيد. كما غيرت تكنولوجيات الاتصالات والنقل جذريًّا من عملية التعلّم الجمعي وذلك بأن أنشأت، للمرة الأولى، شبكة واحدة مترابطة من العقول تنتشر حول الكوكب وبإمكانها إدارة وتتبع المعلومات الجديدة في مخازن إلكترونية هائلة الحجم من المعلومات. لقد صار المجال نو، مجال العقل، محرِّكًا مهيمنًا للتغيير داخل الغلاف الحيوي. وقد مكّنت شبكات الحاسبات القوية والرخيصة مليارات البشر من الوصول إلى معلومات أكثر مما يستطيعون العثور عليه في كل مكتبات العالم الحديث. وعند استخدام الأساليب الرياضية المتقدّمة للتحليل الإحصائي الحديث، مكّنت الحاسبات الحكومات والبنوك والشركات والأفراد من تتبّع تدفقات هائلة من الموارد، كما أنها أتاحت الاتصال الفوري بين الأفراد في كل مكان في العالم عبر التلغرافات والهواتف والإنترنت. وإذا كانت مشاركة المعلومات هي ما يجعلنا نحن البشر بهذه القوة، فقد ضاعفت الحاسبات تلك القوة مرات عدة. وكما الحال دومًا، فقد كانت هناك خسائر كذلك. ومثلما انخفضت على الأرجح مهارات الذاكرة مع انتشار الكتابة، انخفضت بالمثل المهارات الحسابية مع انتشار الحاسبات والآلات الحاسبة.

وبحلول العام ٢٠٠٠، كانت ثورة الوقود الأحفوري تغطي غالبية أجزاء العالم، من بينها الكثير من مناطق المحور القديمة. أما الفجوة المتّسعة في الثروة القومية والنفوذ التي ظهرت في أواخر القرن التاسع عشر فقد بدأت تنغلق. فالقوى الأوروبية، التي أضعفتها الحروب العالمية، تخلّت على مضض عن مستعمراتها،

وبدأت مناطق محورية قديمة في آسيا وشرق المتوسط وشمال أفريقيا والأمريكتين في اللّحاق بركب التكنولوجيا والثروة والنفوذ.
وخلف كل هذه التغيرات كانت تكمن ثروة من الطاقة الرخيصة الآتية من الوقود الأحفوري. فقد زاد إنتاج الفحم في كل مكان، وكذلك إنتاج النفط والغاز الطبيعي. حُفرَت آبار نفط جديدة في شبه الجُزَيْرة العربية وإيران والاتحاد السوفييتي، بل وعلى امتداد الرفوف القارية. وفي الشرق الأوسط وحده، زاد إنتاج النفط من ٢٨ مليون برميل في العام ١٩٤٨ إلى ٣٦٧ مليار برميل في العام ١٩٧٢]للمراجعة[، بعدها بخمسةٍ وعشرين عامًا فقط. وقد تضاعف إجمالي استهلاك الطاقة في القرن التاسع عشر ثم ارتفع عشرة أضعاف في القرن العشرين، أي إن الاستهلاك البشري من الطاقة قد ارتفع بسرعة تفوق الزيادة السكانية.

تغيير العالم جذريًّا: الحوكمة والمجتمع

تغيرت طبيعة المجتمع والحكومة جذريًّا نتيجة تدفّقات الطاقة الجديدة وتكنولوجيات عصر الأنثروبوسين. في ما سبق، كان كلّ البشر صيادين وجامعي طعام، وكان «الحكم» في الواقع يعني العلاقات الأسرية. وبعد ظهور الزراعة، عاش المزيد والمزيد من الناس في قرى وأعالوا أنفسهم عن طريق الزراعة. وفي المجتمعات الزراعية، كان «الحكم» يعني، قبل أي شيء، حشد الطاقة والموارد من الفلاحين. اليوم، غالبية البشر لا يصطادون أو يزرعون من أجل إنتاج الغذاء وغيره من الضروريات؛ فقد صاروا جميعًا أُجراء. ومثل الفخّارين في سومر القديمة، هم يعيشون على الأجور التي يكسبونها من القيام بعمل متخصّص. غيَّر هذا من طبيعة الحكم؛ لأن الحكومات الجديدة تعيّن عليها أن تكون مشاركة في الحياة اليومية لكل مواطنيها. وسبب هذا هو أن الأجراء، خلافًا للفلاحين، لا يستطيعون العيش من دون حكومة. فبمقدور القرى الزراعية أن توجد بلا مشكلات حقيقية خارج حدود الإمبراطوريات الزراعية العظيمة، لكن الأجراء يعتمدون على وجود القوانين والأسواق والموظّفين والمتاجر والعملات. فالأجير المتخصّص لا يستطيع البقاء وحده، تمامًا مثل الخليّة العصبية. ولهذا السبب فإن العالم المؤلف من الأجراء يكون أكثر اندماجًا وتكاملًا من العالم المؤلف من المزارعين. تنظّم الحكومات الحديثة الأسواق والعملات، وتحمي الشركات التي توفّر التوظيف، وتخلق منظومات تعليم جماعية يمكنها نشر المعرفة لغالبية

السكان، وتوفر البنية التحتية الضرورية لحركة السلع والعمال. ولكي تفعل هذا كله، عليها أن تجتذب المزيد والمزيد من رعاياها إلى عمل الحكومة والإدارة.

وبإمكانك أن ترى التحوّل إلى الأنواع الجديدة من الحكم في القرن التاسع عشر، فمع انطلاق التصنيع صار المزيد والمزيد من الفلاحين أجراء، وبدأت الحكومات في حشد المزيد من رعاياها. لقد كانت فرنسا ما بعد الثورة، التي غيّرتها الثورة وكانت عرضة للهجوم من غالبية دول أوروبا، أولى الدول الحديثة التي تجنّد المواطنين بصورة منهجية. كما تشكّلت حكومة الولايات المتحدة في فترة حرب تعيّن عليها خلالها أن تحشد الكثير من مواطنيها. ولعمل ذلك، احتاجت الحكومات إلى سجلات تفصيلية عن عدد المواطنين، وصحّتهم وأهليتهم وتعليمهم ومهاراتهم وثروتهم وولائهم. كانت هناك مشكلات استطاعت غالبية الحكومات التقليدية تجاهلها؛ فقد بدأت حكومتا فرنسا الثورية والولايات المتحدة في حشد ولاء رعاياها عن طريق العملية الديمقراطية، التي أشركت المزيد من السكان في عمل الحكومة، وعن طريق القومية، التي خاطبت إحساس الناس بالمجتمع القومي المشترك. وقد عرضت الحكومتان على عدد متزايد من الرعايا (الرجال الأثرياء ثم غيرهم من الرجال، ثم النساء، بهذا الترتيب) دورًا ما في الحكم من خلال الانتخابات. وعن طريق المدارس والوسائط الإخبارية المتطوّرة بسرعة، حاولت الحكومات الوصول إلى عقول رعاياها وتوليد صور جديدة من الولاء. وقد تبيّن أن القومية طريقة قوية لتوحيد البشر ذوي التقاليد والديانات، بل واللغات، المختلفة. واستغلت الغرائز التقليدية لصلة القربى وذلك بأن شيّدت في عقول المواطنين عائلة كبيرة مُتخيَّلة من ملايين الأشخاص الذين يدينون لهم بالولاء والخدمة، وفي أزمات الحرب الشديدة، ربما يدينون لهم بحياتهم نفسها.

الحروب الشاملة التي شهدتها بدايات القرن العشرين حوّلت الحكومات إلى مديرين اقتصاديين، بينما حاولت حشد كل البشر وكل موارد الاقتصادات الصناعية الحديثة. وبإمكاننا أن نتتبّع بشكل تقريبي الدور المتزايد للحكومة في الإدارة الاقتصادية. ففي القرن التاسع عشر، كانت الحكومة الفرنسية مسؤولة عن نحو ١٥ بالمائة من الناتج المحلي الإجمالي الفرنسي، وهو مقياس تقريبي للإنتاج القومي الكلّي. بدت تلك النسبة كبيرة في ذلك الوقت. وتعدّ الحكومات المعاصرة في كل من بريطانيا والولايات المتحدة مسؤولة عن أقل من ١٠ بالمائة من الناتج المحلّي الإجمالي لبلادها. وقد أجبرت الحروب التي نشبت في بدايات القرن

العشرين الحكومات على التدخّل بصورة أكثر نشاطًا في الإدارة الاقتصادية، وبحلول منتصف القرن العشرين كان متوسط نصيب الإنفاق القومي الواقع تحت سيطرة أو إدارة الحكومات في بلدان منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (التي تأسّست العام ١٩٦٠) يبلغ ٤٥ بالمائة من الناتج المحلي الإجمالي، بينما يتراوح في الدول الأكثر ثراءً بين ٣٠ و٥٥ بالمائة. وقد حاولت بعض الحكومات، مثل الأنظمة الشيوعية في الاتحاد السوفييتي والصين، أن تدير الاقتصاد القومي بالكامل. كما امتلكت الحكومات الحديثة سلطة قسرية على نطاق أوسع كثيرًا مقارنة بالحكومات التقليدية، وذلك عن طريق الجيوش وقوات الشرطة المسلّحة بالأسلحة الحديثة. مثل هذه السلطة ما كان من الممكن أن تخطر على بال مؤلّف وثيقة الأرثاشاسترا، تلك الرسالة الهندية القديمة عن فن الحكم. فالحكومات الحديثة تمتلك من سعة النطاق والسلطة والضخامة ما يجعل أقوى حكومات الحقبة الزراعية تبدو هزيلة بالمقارنة.

في عالمنا الذي يشهد اتصالًا متزايدًا بين أجزائه، اتّخذت الحوكمة كذلك صورًا أكثر عالمية. فبحلول أواخر القرن العشرين، كان هناك العديد من الكيانات السياسية -وليس الحكومات- التي تدير وتنصح وتطبق السياسات على مستوى عالمي. وتتضمّن هذه الكيانات الأمم المتحدة وصندوق النقد الدولي وعدد كبير من الشركات والمنظّمات غير الحكومية كالصليب الأحمر، والتي تتفاوت أنشطتها عبر العديد من البلدان المختلفة. وتمثّل هذه المؤسسات، بصورة بدائية، مستوًى جديدًا عالميًّا من الحوكمة ما كان من الممكن تخيّله منذ بضعة قرون خلت.

طرق جديدة للعيش والوجود

كانت التحوّلات التكنولوجية والسياسية مصحوبة بتغييرات جذرية بالمثل في أنماط حياة البشر؛ في خبرة الحياة.

يعيش البشر المعاصرون بطرق كان من شأنها أن تحيّر أسلافهم وتربكهم، بل وقد تخيفهم. فقد هيمنت الأنشطة العديدة المختلفة لحياة الفلاحين -الحراثة وبَذر الحبوب والحصاد، وإطعام الدواجن، وحلب الأبقار، وقطع أخشاب المدفأة، وجمع الفطر أو الأعشاب، وحمل الأطفال وتربيتهم، وطبخ الطعام، ونسج الألياف التي زرعوها- على حياة غالبية البشر لآلاف الأعوام. واليوم، معظم المزارعين عبارة عن روّاد أعمال أو أجراء. فهم يعملون في مزارع صناعية متخصّصة في بضعة

محاصيل وحسب، بعضها معدّل وراثيًّا، وهم يزرعون المحاصيل بمساعدة المخصّبات ومبيدات الآفات، ويحصدونها وينقلونها باستخدام ماكينات الحصد والجرارات والشاحنات النهمة للطاقة. فالمزارعون المعاصرون لا يزرعون المحاصيل كي يأكلوها، بل لكي يبيعوها. وهم يديرون أعمالًا؛ إذ يقترضون المال من البنوك ويشترون البذور والمخصِّبات والجرارات من الشركات الكبيرة.

معظم البشر لم يعودوا يعيشون في قرى، وإنما في بلدات ومدن. وبعيدًا عن المحصول والجداول وأشجار القرى الزراعية، فإنهم يعيشون في بيئات يشكّلها بالكامل النشاط البشري. وبينما تزايدت الوظائف والمهارات وأشكال الخبرة المختلفة، يقضي الناس المزيد والمزيد من الوقت في التعلم. فالمعلومات -معرفة الخبراء- هي ما يهمّ، وليس المهارات العامّة للفلاحين. وتتمتّع أعداد متزايدة من البشر بمستويات من التغذية والصحة كان يندر وجود مثلها منذ قرن مضى، وذلك بفضل إنتاجية الزراعة الحديثة وأوجه التقدّم الحديثة في الطب والرعاية الصحّية. وقد أنهى التخدير الحديث معاناة أكثر صور التدخل الطبّي التقليدي. (لم يعد يتم التخفيف من ألم البتر أو خلع الأسنان برشفة من مشروب كحولي لا أكثر). وربما كان أهم الأمور قاطبة هو أنه في غضون قرن واحد وحسب، ضاعفت هذه التغييرات المعدل العمري المتوقّع للبشر.

فعلى الرغم من الحروب التي نشبت في القرن العشرين، صارت العلاقات الشخصية، في أغلبها، أقل عنفًا. وثمة منطق واضح وراء هذا التغير، إذ أضحى القسر وسيلة أقل فاعلية للتحكّم في السلوك خلال القرن أو القرنين الماضيين (متى آخر مرة رأيت فيها عملية جَلْد تحدث على الملأ؟)، وحل محله المكافآت والعقوبات الاقتصادية ببطء (أنت على الأرجح طلبت علاوة في وقت ما). ورغم أن غالبية البشر اليوم يعتبرون أن من المسلّم به أن العبودية والعنف الأسري كلاهما خطأ؛ فمن المهم أن نتذكّر أنه حتى أواخر القرن الثامن عشر كانت تجارة الرقيق تجارة محترمة في غالبية أنحاء العالم، وأن التعذيب والإعدام كانا صورتين تقليديتين للعقاب حتى على الجرائم التافهة، وكانا يعتبران شكلًا من أشكال الترفيه للعامة، كما كان الضرب أو العقوبات البدنية أمرًا عاديًّا ومقبولًا تمامًا لحفظ النظام داخل الأسر والمدارس. لا يزال العنف الجسدي شائعًا، لكن قياسًا إلى عدد البشر في العالم، فإنه نادر ولم يعد يعتبر في غالبية أنحاء العالم طريقة مقبولة للسيطرة على السلوك.

في عالم الفلاحين، كانت الغالبية تعيش عيشة الكفاف، وفترات النقص شائعة ومألوفة، وكانت الوفرة تعني في نظر معظم الأشخاص وجود منزل مقبول والتحرّر من الدَّين ووجود ما يكفي من المال لدفع الضرائب وإطعام الأسرة وكسائها. غير أن عالمنا الاستهلاكي مختلف تمامًا اليوم؛ إذ تحرّكه منظومات اقتصادية تنتج، في الأجزاء الأكثر ثراءً في العالم، الكثير من الثروة المادية لدرجة أن بقاءها يعتمد على الاستهلاك الضخم والمستدام من جانب طبقة وسطى عالمية تنمو بسرعة. إن فكرة التقدّم، التي يأخذها غالبيتنا كأمر مسلّم به، جديدة بالمثل. وعلى مدار السواد الأعظم من تاريخ البشر افترض الناس أن الأبناء سيعيشون بنفس المقدار الذي يعيشه آباؤهم، باستثناء في حالة الكوارث.

تغيّرت التوجهات نحو العائلات والأطفال بشدة. ففي القرون الأخيرة، بدأت التغذية والرعاية الصحية الأفضل في خفض معدلات وفيات الأطفال، وبذا صار المزيد من الأطفال يعيشون حتى البلوغ. ومع ذلك فقد كانت التوجّهات التقليدية لدى الفلاحين تقضي باستمرار محاولة الأسر إنجاب أكبر عدد ممكن من الأطفال. وهذه التوجّهات، علاوة على الزيادة في إنتاج الغذاء وزيادة الخصوبة وانخفاض معدل الوفيات، ساعدت في تحقيق زيادة سكانية استثنائية في القرون الأخيرة. لكن في نهاية المطاف بدأت التوجّهات التقليدية في التغيّر بينما انتقلت الأسر إلى البلدات، وصارت تربية وتعليم الأطفال مكلفَيْن أكثر، وصار عدد أكبر من الأطفال يعيشون. بدأت الأسر الحضرية تنجب أطفالًا أقل، وبدأت معدلات الخصوبة في الانخفاض. وذلك الانخفاض في معدلات الخصوبة الذي تبع الانخفاض السابق في معدلات الوفيات يؤدّي إلى ما يطلق عليه الديموغرافيون اسم «التحوّل الديموغرافي»: أي ظهور نظام ديموغرافي جديد من الخصوبة المنخفضة والوفيات المنخفضة. وذلك يفسر لماذا، في القرن العشرين، بدأت معدلات نمو السكان في التباطؤ، أولًا في البلدان الثرية، ثم في بقية أنحاء العالم. كما أنه يساعد في تفسير التغيرات الجوهرية في أدوار الجنسين. فالضغوط الأقل على النساء لقضاء كل حياتهن البالغة في الحمل وتربية الصغار صارت تمحو الفواصل التقليدية بين أدوار الذكور والإناث ومكّنت النساء من الاضطلاع بأدوار كُنَّ قد أُقصين عنها خلال الحقبة الزراعية.

إن جوانب أنماط الحياة الحديثة هذه مألوفة لكل شخص يعيش في عالمنا اليوم، رغم أن التعارض مع عالم الفلاحين الذي اختفى اليوم ربما يكون أصعب في

الإدراك. بل والأصعب في الفهم هي الزيادة الهائلة في تعقيد المجتمعات الحديثة، الطريقة التي تتشابك فيها كل تفصيلة من حياتك مع الشبكات التي تتضمّن ملايين البشر الآخرين الذين يوفّرون الطعام والعمل والرعاية الصحّية والتعليم والكهرباء ووقود سيارتك والملابس التي ترتديها. وكل حلقة من هذه الحلقات المترابطة ربما تتضمّن آلاف أو ملايين الأشخاص الآخرين المرتبطين معًا في شبكات ذات تعقيد مذهل. وفي اللحظات الخاملة في المطارات، أحب التفكير في عدد الأشخاص ذوي الصلة بمشروع بناء وصيانة الطائرة إيرباص ٣٨٠ ونقلها من سيدني إلى لندن. وإذا أضعفت أي حلقة من هذه الحلقات، يمكن لعوالمنا أن تتفتّت بسرعة مرعبة، كما يتّضح اليوم في تلك الأجزاء من العالم التي انهارت فيها بنية الدولة. وقد كان كاوتيليا، مؤلّف وثيقة الأرثاشاسترا ليقول إن البشر في هذه الأماكن يعيشون في ظل «قانون الغاب».

تغيير الغلاف الحيوي

إن ثورة الوقود الأحفوري والتسارع العظيم لم يتسببا في تغيير المجتمعات البشرية وحسب، وإنما غيرا كذلك الغلاف الحيوي تغييرًا جذريًّا. فالأنشطة البشرية تعمل على تغيير توزيع وأعداد الكائنات الحية، وتغيير كيمياء المحيطات والغلاف الجوي، وتعيد تنظيم المشاهد الطبيعية والأنهار، وتخلخل توازن الدورات الكيميائية القديمة التي تنشر الكربون والأوكسيجين والفسفور في أرجاء الغلاف الجوي.

وقد استغرق الباحثون وقتًا طويلًا كي يدركوا أن تأثير الأنشطة البشرية يعادل في جسامته تأثير العمليات الحيوية الجيولوجية الكيميائية التي تحافظ على استقرار الغلاف الحيوي. ومن دون أن نفهم حقًّا ما نفعله، فإننا نعبث بمنظّم الحرارة الخاص بالغلاف الحيوي، والذي أبقى سطح كوكب الأرض في نطاق درجات الحرارة المناسبة للحياة لأربعة مليارات عام.

يلعب الكربون دورًا محوريًّا في كيمياء الحياة، وقد ساعد توزيعه في الغلاف الجوي والبحار والقشرة الأرضية في تحديد درجات الحرارة على سطح الأرض على مدار تاريخ الكوكب. واليوم، ونحن نستغل الطاقة الموجودة في الوقود الحفري، فإننا نضخّ كميات هائلة من ثاني أوكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي. لكن حتى خمسينيات القرن العشرين لم يدرك العلماء تأثير هذا على دورة الكربون.

وقد بدأ تشارلز كيلينج في قياس مستويات ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي في هاواي العام ١٩٥٨، وفي غضون بضعة أعوام وجد أن هذه المستويات كانت آخذة في الارتفاع بسرعة. قبل ثورة الوقود الأحفوري، لم تكن انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون كبيرة بما يكفي للتأثير على مستويات ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ولكن اليوم تتسبّب الأنشطة البشرية في إطلاق نحو عشرة آلاف ميجاطن من ثاني أوكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي سنويًّا، وتذهب التقديرات إلى أنه منذ الثورة الصناعية، بلغ إجمالي الانبعاثات نحو أربعمائة ألف ميجاطن من ثاني أوكسيد الكربون. وقد صارت أهمية هذه التغييرات جلية حين وجد العلماء طرقًا لقياس مستويات ثاني أوكسيد الكربون على مدار مئات الآلاف من الأعوام. وقد تمثّلت إحدى الطرق في دراسة الأجزاء الداخلية من الجليد، والتي تحتوي على فقاعات صغيرة، محبوسة عامًا تلو الآخر، ويمكنها أن تخبرنا بتركيب الغلاف الجوي على نطاقات زمنية جيولوجية. وقد بيّنت هذه الفقاعات أنه على مدار القرنين التاليين على الثورة الصناعية، ارتفعت مستويات ثاني أوكسيد الكربون إلى مستويات أعلى من أي مستويات شهدها الكوكب على
مدار مليون عام تقريبًا.

كانت التغييرات التي لاحظها كيلينج حقيقية؛ بل كانت مذهلة؛ وكانت تعمل على تغيير دورة الكربون جذريًّا. إن ارتفاع مستويات ثاني أوكسيد الكربون سيعني أن المناخ سيصير أدفأ، والمناخ الأدفأ سيعني المزيد من الأعاصير العاتية، والعواصف وتيارات الرياح، وارتفاع مستويات المحيطات التي ستغرق المدن المنخفضة. سوف تستمرّ هذه التأثيرات لأجيال عديدة لأنه بمجرد إطلاق ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي فإنه يظلّ هناك لفترة طويلة. غير أن ثاني أوكسيد الكربون ليس غاز الدفيئة الوحيد المهم الذي زادت مستوياته في الغلاف الجوي نتيجة للأنشطة البشرية؛ إذ ارتفعت مستويات الميثان بمعدل أسرع خلال القرنين الماضيين، مدفوعة بالأساس بانتشار زراعة الأرز في الحقول المغمورة بالمياه وبزيادة أعداد الدواجن. إن الميثان غاز دفيئة أقوى، وإن كان يتحلّل على نحو أسرع.

في أواخر القرن العشرين، مكنت الحاسبات علماء المناخ من بناء نماذج متزايدة التعقيد للتأثير المحتمل لهذه التغييرات على الغلاف الجوي. وتشير نماذجهم إلى أنه في غضون بضعة عقود ستتسبّب انبعاثات غازات الدفيئة في جعل العالم أدفأ،

وسيؤدّي ذوبان الأنهار والقمم الجليدية إلى ارتفاع مستوى سطح البحر، وهو ما سيغرق العديد من المدن الساحلية، وستجعل أنماط الطقس المتطرفة الزراعة أصعب. وفي غضون بضعة عقود، ستبدو المناخات العالمية مختلفة كثيرًا عن الأنماط المستقرّة نسبيًّا لعصر الهولوسين. وبحسب تعبير أحد علماء المناخ الأمريكيين فإن: «المناخ وحش غاضب، وما برحنا ننكزه بعصا».

لا يقلّ النيتروجين أهميةً للحياة عن الكربون. ففي العام ١٨٩٠ كان تأثير البشر على دورة النيتروجين لا يُذكَر، وكل عام، يستخلص البشر نحو خمسة عشر ميجاطنًا من النيتروجين من الغلاف الجوي، عن طريق الزراعة بالأساس، بينما تستخلص النباتات البرية نحو مائة ميجاطن، أي نحو سبعة أضعاف ما يستخلصه البشر. وبعد مائة عام، تبادل البشر والنباتات الأدوار. وبحلول العام ١٩٩٠، كانت مساحة الأراضي المزروعة قد زادت إلى درجة أن النباتات البرّية صارت تستخلص ٨٩ ميجاطنًا فقط، بينما ارتفع النيتروجين المستخلص من الزراعة وإنتاج المخصبات إلى ١١٨ ميجاطنًا.

كما كان تأثير البشر على الحيوانات الضخمة الأخرى عميقًا. ففي العام ١٩٠٠، كان إجمالي الكتلة الحيوية لجميع الحيوانات البرية يبلغ نحو عشرة ميجاطن. كانت الكتلة الحيوية للبشر تبلغ بالفعل ثلاثة عشر ميجاطنًا، بينما الحيوانات المُدَجَّنة - الأبقار والخيول والخراف والماعز- تبلغ خمسة وثلاثين ميجاطنًا. وفي القرن التالي، تغيّرت هذه المعدلات. فبحلول العام ٢٠٠٠، كان إجمالي الكتلة الحيوية للحيوانات البرية قد انخفض إلى نحو ٥ ميجاطن، بينما ارتفع إجمالي الكتلة الحيوية للبشر بسرعة (وهو ليس بالأمر المفاجئ في ظل الزيادة السكانية) إلى نحو ٥٥ ميجاطنًا، ووصلت الكتلة الحيوية للحيوانات المُدَجَّنة إلى رقم مدهش مقداره ١٢٩ ميجاطنًا. وهذا مؤشّر قوي على المدى الذي أدت به الأنشطة البشرية الممتدة إلى تقزيم الأنواع الأخرى من الحيوانات الضخمة عن طريق الاستحواذ على المزيد والمزيد من موارد الغلاف الحيوي.

هذه النقطة عامّة. فغالبية أنواع الحيوانات والنباتات التي ليس لها قيمة مباشرة للبشر تنخفض أعدادها، وهي تنخفض بسرعة شديدة إلى درجة أن البعض يتكهّن بأننا ربما نشهد المراحل المبكرة لحدث انقراض شامل آخر. إن معدلات الانقراض الآن أسرع مائة مرة مما كانت عليه خلال الملايين القليلة الأخيرة من الأعوام، وتقترب من معدلات لم نشهدها منذ آخر حدث انقراض شامل، منذ خمسة وستين

مليون عام مضت. بل إننا نحن البشر تمكّنا من دفع أقرب أقربائنا إلى الانقراض، ومن بينهم على الأرجح أشباه البشر أمثال النياندرتال. أما أقرباؤنا الأحياء، الشمبانزي والغوريلا وإنسان الغاب، فهي على مشارف الانقراض في البرية.

لقد عزّزت ثورة الوقود الأحفوري حجم تأثير البشر في كثير من المناحي الأخرى. فأنشطة التعدين وبناء الطرق وانتشار المدن تنقل من التربة قدرًا أكبر مما تنقله التعرية والتجمّد. وتمتصّ المضخّات العاملة بالديزل الماء العذب من مخزون المياه الجوفية بسرعة أكبر بعشر مرات من التدفق الطبيعي الذي يعوّضها. كما أننا ننتج معادن وصخور وأشكال من المادة لم يكن لها وجود من قبل قط، ومن بينها المواد البلاستيكية (المصنوعة من النفط، والتي تتراكم الآن في مكبات النفايات في المدن وفي المحيطات)، والألومينيوم الخالص، والصلب الذي لا يصدأ، وكميات هائلة من الأسمنت، وصخور من صنع البشر يسهم تصنيعها بقوة في انبعاثات الكربون. وهذه الزيادة في المواد لم يسبق أن حدثت على الأرض منذ ظهور الغلاف الجوي الذي يهيمن عليه الأوكسيجين، منذ نحو ٢,٤ مليار عام.

أحد أكثر هذه التغييرات إثارة للفزع هو الزيادة في إنتاجية الأسلحة البشرية. فمنذ بضعة قرون خلت، كانت أشد الأسلحة فتكًا هي الحِراب أو ربما المجانيق التي تقذف الصخور. ومنذ أواخر العصور الوسطى، منحتنا ثورة البارود، التي بدأت في الصين، البنادق والمسدسات والمدافع والقنابل اليدوية. كما أنتجت الحرب العالمية الثانية أسلحة بإمكانها تدمير الغلاف الحيوي بالكامل في ساعات قلائل، أسلحة تعادل في قدرتها التدميرية الكويكب الذي أفنى الديناصورات.

قياس التغيير في عصر الأنثروبوسين

أدّت التدفّقات الجديدة للمعلومات والطّاقة إلى دمج البشر والحيوانات والنباتات، علاوة على المواد الكيميائية الموجودة في الأرض والبحار والغلاف الجوي، داخل منظومة واحدة مشيَّدة بالأساس من أجل صالح نوعنا، وتعتمد هذه المنظومة على تدفّقات هائلة للطاقة من الوقود الحفري. ويمكننا أن نقيس بشكل تقريبي تأثير تدفّقات الطاقة هذه في عصر الأنثروبوسين باستخدام الأرقام الواردة في الملحق الإحصائي.

أول شيء يبرز جليًّا هو الحجم الهائل للتغيير في القرون الأخيرة. فخلال المائتي عام الماضية، ارتفع عدد البشر (العمود ب) من تسعة ملايين نسمة إلى أكثر من ستة مليارات. يعني هذا إضافة ستة وعشرين مليار شخص كل ألف عام، وهو معدّل يفوق بألف مرّة ذلك الخاصّ بالحقبة الزراعية، التي كان يُضاف فيها، في المتوسط، نحو خمسة وعشرين مليون شخص كل ألف عام. معدّلات النمو هذه غير مستدامة، وفي العقود الأخيرة شهدت تباطؤًا. ومع ذلك فإن الأرقام توضح التأثير المذهل لثورة الوقود الأحفوري على الزيادة السكانية.

وقد اعتمد النمو السكاني السريع على الزيادات الهائلة في الطاقة المتاحة لنوعنا (العمود ج). فخلال الثمانية آلاف عام التي انقضت بين العصر الجليدي الأخير وألفي عام خلت، زاد استهلاك الطاقة بنحو سبعين مرة. وفي مائتي عام وحسب، بين العامين ١٨٠٠ و٢٠٠٠، ارتفع إجمالي استهلاك الطاقة بنحو اثنين وعشرين مرة، من ٢٠ مليون جيجاجول (٢٠ إكساجولًا) إلى ٥٢ مليون جيجاجول (٥٢٠ إكساجولًا). وهذا الارتفاع يعني وجود زيادة مقدارها ٢٥٠٠ إكساجول لكل ألف عام، وهو معدل زيادة يفوق المعدل الخاص بالحقبة الزراعية بعشرين ألف مرة.

ومثل ثروة الطاقة الآتية من الزراعة، دفعت ثروة الطاقة الآتية من الوقود الأحفوري تكلفة النمو السكاني، وتكلفة ضريبة التعقيد التي تتطلبها الإنتروبيا، وفي النهاية، تكلفة ارتفاع مستويات المعيشة، لكن على نطاق أكبر كثيرًا مما كان عليه الحال في الحقبة الزراعية. وهذه المرة، لم يكن ارتفاع مستويات المعيشة حكرًا على عُشر البشرية، وإنما امتد إلى الطبقة الوسطى النامية الأكبر بكثير.

استُخدم جزء كبير من ثروة الطّاقة الآتية من الوقود الأحفوري في دفع نفقات العدد المتزايد من البشر؛ إذ استُخدم في إطعام وكساء وإيواء ما بين خمسة وستة مليارات شخص أُضيفوا إلى سكان العالم خلال القرنين الماضيين. غير أن ثروة الوقود الأحفوري كانت أكبر كثيرًا من ثروة الزراعة بحيث تبقى منها الكثير للاستخدامات الأخرى. ونحن نعلم هذا لأن العمود (د) يبيّن أن الطاقة المتاحة لكل شخص زادت بنحو ثماني مرات خلال الألف عام الماضية، بينما في فترة الثمانية آلاف عام التي انقضت بين العصر الجليدي الأخير وألفي عام خلت كان معدل الزيادة أقل من الضعف. وفي المائتي عام الماضية، زاد عدد السكان بسرعة خاطفة، غير أن تدفّقات الطاقة زادت بمعدل أسرع.

استُخدم الكثير من الطاقة الفائضة في دفع الضرائب التي تفرضها الإنتروبيا على المجتمعات متزايدة التعقيد. وكثير من تلك الطّاقة لم يؤدِ عملًا مُنتجًا، أو تبدَّد على صورة حرارة، أو تلوث، أو نفايات أو بفعل دمار الحرب. لقد كان يؤدّي مهمة الإنتروبيا المتمثّلة في تقويض البنى المعقدة. ليس لدينا مقياس جيد لمقادير الطاقة المعنية، لكن من المؤكد أنها كانت كبيرة. بعد ذلك تأتي ضرائب التعقيد الأخرى، الطاقة والثروة التي
تُدفَع مقابل البنية التحتية لمجتمعات اليوم العالمية. في المائتي عام الماضية، زاد حجم كبرى المدن من نحو مليون نسمة (وهو مستوّى لم يتغير بالكاد خلال ألفي عام) إلى أكثر من عشرين مليونًا (العمود و). وفي ضوء البنية التحتية، من كهرباء وصرف صحّي وطرق ونقل عام، التي تتطلّبها المدينة الحديثة والتحدّيات المرتبطة بضبط وتنظيم أنشطة عشرين مليون شخص محتشدين داخل مساحة صغيرة، يصير من الواضح أن هذا يمثّل قفزة كمّية في التعقيد الاجتماعي والتكنولوجي. إن ضرائب التعقيد تدفع تكلفة بناء وصيانة المباني والحافلات والقطارات والعبَّارات والصرف الصحي والطرق، وهي تدفع تكلفة جمع القمامة، وشبكات الكهرباء، والتشريعات القانونية، وأعمال الشرطة، والسجون والمحاكم، وعمليات النقل بواسطة السفن والطائرات والقطارات، واتصالات الإنترنت، وكلها أمور تربط المدن في كل أنحاء العالم في شبكة واحدة. ومن دون هذه المنظومات المختلفة، التي تحرّكها جميعًا تدفّقات الطاقة، ستتفكّك البنية المعقّدة للمدينة الحديثة بسرعة. كما أن المدن، بدورها، تربطها بنية تحتية معقّدة من الطرق السريعة والقوانين والاتصالات الإلكترونية بمئات الآلاف من البلدات الأصغر والقرى والمستعمرات المعزولة. ورغم أنّ ما من طريقة لقياس ضرائب التعقيد بدقّة، فيمكننا أن نكون واثقين من أنها تستنفد حصّة كبيرة من طاقة الوقود الأحفوري.

غير أن منجم طاقة الوقود الأحفوري كان شديد الضخامة لدرجة أن الكثير من الطّاقة تبقى للقيام بمهمة أخرى: تحسين أحوال البشر. فكما في الحقبة الزراعية، كان قدر أكبر مما ينبغي من الثروة يذهب إلى قلّة قليلة من النخبة، وهكذا، كما في الماضي، يمكننا عزو حصّة كبيرة من ثروة الطاقة إلى استهلاك النخبة. غير أن الزيادة في الطّاقة والثروة كانت كبيرة للغاية إلى درجة أنه، للمرة الأولى في تاريخ البشر، بدأت مستويات الاستهلاك في الارتفاع للطّبقة الوسطى المتزايدة التي قوامها مليارات الأشخاص، وهو عدد أكبر بكثير من إجمالي عدد السكان في

العالم عند نهاية الحقبة الزراعية. وبحسب تقدير توماس بيكيتي فإنه في الدول الأوروبية الحديثة، تسيطر نسبة ٤٠ بالمائة من السكان على نسبة تتراوح بين ٢٥ و٤٥ بالمائة من الثروة القومية. وقد كان ظهور هذه الطبقة الوسطى ظاهرة جديدة في تاريخ البشر، وينضم مزيد ومزيد من الناس إلى الطّبقة الوسطى الجديدة بينما تنخفض أعداد من يعيشون في فقر مدقع.

لكن من قبيل المفارقة أن زيادة الثروة تعني أيضًا زيادة اللامساواة، وحتى بينما ترتفع أعداد من يعيشون فوق خطّ الكفاف، فإن عدد من يعيشون في فقر مدقع يظلّ أكبر من أي وقت سبق في التاريخ الإنساني. وبحسب تقدير توماس بيكيتي فإنه في غالبية الدول الحديثة، تسيطر شريحة الـ١٠ في المائة الأكثر ثراءً على نسبة تتراوح بين ٢٥ و٦٠ بالمائة من الثروة القومية، بينما شريحة الـ٥٠ في المائة الأدنى لا تسيطر على أكثر من ١٥ إلى ٣٠ بالمائة. يمثل هذا انخفاضًا في اللامساواة مقارنة بالحقبة السابقة على الحرب العالمية الأولى مباشرة. لكن في بدايات القرن الحادي والعشرين، تبدو اللامساواة في طريقها إلى الزيادة مجدّدًا، ويعني العدد الكبير للبشر الذين يعيشون اليوم أن عدد الأشخاص الذين يعيشون في فقر مدقع اليوم أكبر بكثير من العدد في الماضي. ففي العام ٢٠٠٥، كان أكثر من ثلاثة مليارات شخص (أي أكثر من عدد البشر في العالم أجمع في العام ١٩٠٠) يعيشون على أقل من دولارين ونصف دولار يوميًّا. وغالبية الأشخاص في هذه المجموعة لم يروا إلا أقل الفوائد لثورة الوقود الأحفوري ويعانون من ظروف المعيشة الضارّة وغير الصحيّة وغير المستقرّة التي كانت سائدة في بدايات الثورة الصناعية والتي وصفها على نحو بليغ كل من ديكنز وإنجلز.

ومع ذلك، فقد استفادت شريحة متزايدة من البشر من الزيادة في تدفّقات الثروة والطّاقة ويعيشون فوق حدِّ الكفاف بهامش طيب. ولقد زادت هذه التدفّقات من مستويات الاستهلاك وكذلك مستويات التغذية والصحة لمليارات البشر. وربما يكون المقياس الأفضل لهذا التغيّر هو المتوسط العمري (العمود ه). فعلى مدار السواد الأعظم من تاريخ البشر، كان المتوسّط العمري المتوقّع عند الميلاد أقل من ثلاثين عامًا. ولم يكن هذا راجعًا إلى أن البشر لم يعيشوا حتى الستين أو السبعين من العمر، وإنما بسبب وفاة العديد من الأطفال في سن صغيرة ووفاة العديد من البالغين بسبب الصدمات والعدوى التي ليس لها أن تقتلهم اليوم. لم يتغيّر المتوسط العمري على مدار مائة ألف عام، وبعد ذلك، في غضون المائة عام

الماضية وحسب، ارتفع المتوسط العمري إلى الضعف تقريبًا في كل أنحاء العالم، لأن البشر اكتسبوا المعلومات والموارد المطلوبة لرعاية الصغار والكبار على نحو أفضل كثيرًا، ولإطعام المزيد من البشر، ولتحسين العلاج والرعاية الصحّية للمرضى والمصابين.

إن التناقض بين ثروة الطّاقة الآتية من الوقود الأحفوري وتلك الآتية من الزراعة لافت للانتباه. فقد كانت الطّاقة الآتية من الوقود الأحفوري شديدة الضخامة إلى درجة أنه علاوة على الإنفاق على التناسل، وثروة النخبة، والهدر، والبنية التحتية للتعقيد، كان هناك قدرٌ متبقٍ يكفي لرفع مستويات المعيشة والاستهلاك لنسبة كبيرة متزايدة من البشرية. كان هذا تحولًا ثوريًّا، وقد حدث بالأساس خلال المائة عام الماضية وبالأساس خلال مرحلة التسارع العظيم التي واكبت النصف الثاني من القرن العشرين.

هذا هو الوجه الحسن لعصر الأنثروبوسين (الحسن من منظور البشر). فعصر الأنثروبوسين الحسن أوجد حياة أفضل لمليارات البشر العاديين للمرة الأولى في تاريخ البشرية. (إذا كنت تشك في هذا التحسن، فكّر مجددًا في إجراء عملية جراحية من دون تخدير).

لكنْ، هناك أيضًا وجه قبيح لعصر الأنثروبوسين. فعصر الأنثروبوسين القبيح يتألّف من العديد من التغييرات التي تهدد إنجازات عصر الأنثروبوسين الحسن. أولًا، أدّى عصر الأنثروبوسين القبيح إلى قدر كبير من اللامساواة. فرغم الزيادة الهائلة في الثروة، لا يزال ملايين البشر يعيشون في فقر مدقع. ورغم أنه من المغري التفكير بأن عالمنا الحديث قد تخلّص من العبوديّة، فبحسب تقديرات مؤشر العبوديّة العالمي للعام ٢٠١٦ فإن أكثر من خمسة وأربعين مليون شخص يعيشون اليوم كعبيد. فعصر الأنثروبوسين القبيح ليس بغيضًا من الناحية الأخلاقية وحسب، بل هو خطير أيضًا لأنه يضمن نشوب الصراع، وفي عالم توجد فيه أسلحة نووية، يمكن لأي صراع كبير أن يكون كارثيًّا لغالبية البشر.

أيضًا يهدد عصر الأنثروبوسين القبيح بخفض التنوّع الحيوي وتقويض المنظومة المناخية المستقرّة التي سادت على مدار العشرة آلاف عام الماضية. فتدفّقات الطّاقة والموارد التي تدعم الاستهلاك البشري المتزايد شديدة الضخامة الآن إلى درجة أنها تسبّبت في إفقار الأنواع الأخرى وتعريض الأسس الإيكولوجية التي يقوم عليها المجتمع الحديث للخطر. في الماضي، كان عمال المناجم يأخذون معهم

عصفور كناري لرصد مستويات أول أوكسيد الكربون. واليوم، تخبرنا أمور مثل ارتفاع مستويات ثاني أوكسيد الكربون وانخفاض التنوّع الحيوي وذوبان الأنهار الجليدية بأن ثمّة شيئًا خطيرًا يحدث، وعلينا أن نتنبّه له.

إن التحدّي الذي نواجهه كنوع واضح تمام الوضوح. فهل بإمكاننا أن نحافظ على الوجه الحسن لعصر الأنثروبوسين وأن نتجنّب مخاطر وجهه القبيح؟ هل بإمكاننا توزيع ثروة الطاقة والموارد التي شهدها عصر الأنثروبوسين بصورة أكثر إنصافًا من أجل تجنّب الصراعات الكارثية؟ وهل يمكننا أن نتعلّم كيفية استخدام تدفّقات أصغر وأوهن من الموارد لعمل ذلك، على نحو شبيه بما قامت به الكائنات الحيّة الأولى؟ وهل يمكننا العثور على مكافئ عالمي لمضخّات البروتون المستخدمة في تزويد كلّ الخلايا الحيّة بالطّاقة اليوم؟ أم هل سنواصل الاعتماد على تدفّقات الطاقة والموارد الهائلة التي من شأنها في نهاية المطاف أن تزعزع المجتمعات شديدة التعقيد التي بنيناها في الأعوام المائتين الماضية؟

الجزء الرابع : المستقبل

الفصل الثاني عشر : إلى أين المصير؟

من الصعب إصدار التنبوءات، خاصّة بشأن المستقبل.
يوجي بيرا (قول منسوب إليه)
لقد نسي الإنسان منذ وقت طويل أن الأرض مُنحَت إليه كي ينتفع بها وحسب، لا لكي يستهلكها، وبالتأكيد لا لكي يهدرها في بذخ.
تشارلز بيركنز مارش، Man and Nature

ألعابٌ مستقبليّة

استعرضنا في المقدّمة الموكب الرائع المتعدّد العناصر الذي يضم كل الأشياء، بما فيه من نجوم وأفاعٍ، وكواركات وهواتف محمولة، كلها تسعى نحو الدويّ البعيد للمستعرّات العظمى تحت العين المنهكة، لكن التي لا تطرف، للإنتروبيا. إلى أين يتّجه هذا الموكب؟

من العجيب أن عددًا قليلًا من الأنظمة التعليمية يقضي وقتًا كثيرًا في تناول المستقبل بصورة منهجية. وهذا التجاهل باعث على الدهشة لأن التفكير في المستقبل شيء تقوم به كل الكائنات ذات الأدمغة، ونقوم به نحن البشر أفضل من أي نوع آخر. فالأدمغة، سواء أكانت أدمغة بشر أو شمبانزي، تبتكر نماذج مبسّطة للعالم كما هو الآن، علاوة على ابتكار نماذج للكيفية التي يمكن أن يتغير بها العالم مستقبلًا. والأدمغة، مثل سماسرة البورصة أو علماء المناخ، منخرطة في عملية نمذجة المستقبل، وعن طريق عمل ذلك فهي تنبّه أصحابها إلى الاحتمالات والمخاطر القريبة.

واليوم، يمكننا نحن البشر أن نلعب الألعاب المستقبلية بمهارة رائعة وعلى مستويات مذهلة. إن نماذجنا غنيّة وقويّة لأن اللغة البشرية ومشاركة المعلومات تمكّننا من دمج مليارات النماذج المنفردة معًا. ويعني ذلك أن بوسعنا تنقيح وإثراء وتحسين نماذجنا، بينما يجري تعديلها وتصحيحها والإضافة إليها من جانب التغذية الراجعة والمعلومات الجديدة الآتية من مليارات البشر الآخرين على مدار العديد من الأجيال. وتضمّ نماذج اليوم عن العالم معلومات مأخوذة من كل جزء من كوكب الأرض، ونحن نبنيها باستخدام أفضل ما في العلم الحديث ونديرها على شبكات من الحاسبات التي تستطيع استعراض ملايين السيناريوات المختلفة. «إذا ذابت كل الأنهار الجليدية في جرينلاند، فهل سيرتفع مستوى سطح البحر بحيث

تغرق كل من ميامي ودكا؟». لم يكن بوسعنا تناول هذا السؤال بجدّية منذ مائة عام. لكن اليوم، باستطاعة الإجابات الغنيّة والمُختبرَة بحرص عن هذه الأسئلة أن ترشد قرارات السياسات التي ستؤثّر على مليارات الأشخاص، وكثير منهم اليوم لا يزال صغيرًا أو لم يولد بعد. (نعم، ستغرق كل من ميامي ودكا).

أو يمكننا توجيه أسئلة ذات نطاق أكبر بشأن المستقبل البعيد، على غرار: «هل ستربح الإنتروبيا؟ هل ستفكّك في نهاية المطاف كل البِنى والأشكال؟» في الواقع، لدينا بعض الإجابات الواثقة على مثل هذه الأسئلة، لأنه على المستوى الكوني نحن نتساءل عن أنواع بسيطة نسبيًّا من التغيير. فنحن نعود إلى المنظومات الفيزيائية المعقدة الخاصة بالكون المبكر. ولا تستطيع الإجابات على الأسئلة الكونية المتعلّقة بالمستقبل أن تمنحنا الكثير من التوجيه العملي اليوم لأنها تتعلّق بحوادث بعيدة للغاية زمنيًّا. غير أن بوسعها أن تمنح شكلًا لقصة الأصل الحديثة الخاصّة بنا لأنها تعطينا لمحات عمّا سيصير إليه كل شيء. فهي تقدّم فهمًا عميقًا، ربما، بل وحتى إحساسًا بالاكتمال، لكنها لا تقدّم التوجيه.

يوجد مستوى زمني آخر بين المستويين البشري والكوني، مقداره بضعة آلاف من الأعوام. فما الذي ستبدو الأرض عليه بعد ألفي عام؟ وكيف سيكون شكل البشر؟ أو أكواز الذرة، أو المدن أو المستعمرات الموجودة على المريخ؟. من العجيب أن هذا المستوى الوسيط هو الأصعب في نمذجته. فالأسئلة المثيرة للاهتمام في هذا المستوى تتعلّق بمنظومات شديدة التعقيد مثل الغلاف الحيوي، وفي غضون ألفي عام ستكون لشجرة الاحتمالات الناشئة عددًا كبيرًا للغاية من الفروع التي يستحيل على أقوى النماذج الحاسوبية أن تختار الأرجح من بينها. لكن ليس عدد الفروع وحده هو ما يحبطنا. فقد بيّنت لنا فيزياء الكم أن الكون، على أصغر مستوياته، لا يتسم بالحتمية، ويمكن لأشياء غير متوقعة أن تحدث، ومثل رفرفة جناحي فراشة، من الممكن أن تتراكم هذه الأشياء عبر سلاسل سببية ذات قوة كافية، بحيث ترسل المستقبل نحو اتجاهات كثيرة ممكنة. وبذا توجد مساحة كبيرة للصدفة، ولا تستطيع أدمغتنا ولا أفضل حاسباتنا بعد أن تتصوّر كيفية سير وباء استنادًا إلى طفرة جينية دقيقة في فيروس، أو تتصوّر تأثير انفجار مستعرّ أعظم قريب، رغم أننا قد نكون قريبين من التنبؤ بارتطام كويكب محتمل (وهي المعرفة التي كانت الديناصورات سترغب فيها بشدة). فعلى هذا المستوى الوسيط، نحن ندخل عالم الخيال العلمي. إن القصص التي نرويها عن الألفيات

القليلة القادمة مدهشة وآسرة ومهمة، لكن ما من سبيل لدينا إلى تحديد أيها ينبغي أن نأخذه بجدّية.

المستقبل البشري: المسعى

بالنسبة إلينا نحن البشر، المائة عام القادمة شديدة الأهمية. فالحوادث تتصاعد سريعًا إلى درجة أن تفاصيل ما نفعله في العقود القليلة التالية، الشبيهة باللحظات التي تسبق وقوع حادث وشيك، سيكون لها تبعات عظيمة علينا وعلى الغلاف الحيوي تستمر لآلاف الأعوام. وسواء أعجبنا هذا أم لم يعجبنا، فنحن الآن ندير الغلاف الحيوي، ويمكننا أن نقوم بذلك على نحو حسن أو رديء.

تخبرنا الأساطير بكل أنواعها بالكثير عن كيفية مواجهة المستقبل العصيّ على التنبؤ، لأنها مليئة بقصص عن النجاحات الصعبة والإخفاقات الكارثية، والمساعي الموفّقة. لكن الجديد اليوم هو أن الانهيار المحتمل قد يؤثّر على سبعة مليارات شخص، وملايين الكائنات الأخرى التي تقف موقف المتفرّج أو تتأثّر سلبًا. وهكذا ثمّة مهمّة تقع على عاتق البشر المعاصرين، تمامًا مثل أبطال وبطلات الأساطير الشهيرة. ومهمّتنا هي تجنّب الانهيار وإيصال البشر والغلاف الحيوي إلى مكان آمن، لأننا نعلم أنه لن يوجد مكان آمن للبشر لو دُمِّرَ الغلاف الحيوي.

في أفضل الأساطير لا توجد ضمانات. فمن الممكن أن يقع الانهيار بالفعل، ومن الممكن أن نسيء إدارة الماكينة العالمية المعقّدة التي بنيناها نحن البشر ونفقد منافع عصر الأنثروبوسين الحسن. وهذا أمر مرجَّح تحديدًا إذا حاول سائقون مختلفون توجيه الماكينة في اتجاهات مختلفة أو إذا تجاهلنا إشارات التحذير الحمراء التي تظهر على لوحة التحكّم. وإذا تعطّلت الماكينة وانخفضت الإنتاجية، فلن نكون قادرين على دعم سبعة مليارات شخص، وسنواجه فترة مروّعة من الفوضى الاجتماعية والحروب والمجاعات والأمراض المتفشّية. هذا هو «قانون الغاب» الذي أشارت إليه وثيقة الأرثاشاسترا. وحين تستقرّ الأمور في النهاية، سيعيش عدد قليل من الناجين داخل قيود الطّاقة الخاصّة بالحقبة الزراعية، التي لا تتمتّع فيها إلا قلّة قليلة من البشر بما هو أكثر من الكفاف. وإذا ألحقنا ضررًا خطيرًا بالمنظومات المناخية، ربما لا تصير الزراعة نفسها ممكنة في هذا العالم؛ إذ اعتمدت الزراعة، على أي حال، على المناخات المستقرّة في عصر الهولوسين.

ومن يدري؟ فربما، كما في قصص الخيال العلمي، يعيد البشر المتبقون بناء شيء شبيه بعالمنا، مسترشدين في ذلك، ربما، بالذكريات والكتب المحترقة والمخطوطات أو الآثار المهدّمة للمدن والمصانع والماكينات والرقائق المصغرة. أم هل من الممكن، كما اقترح البعض، أنه يوجد حدٌّ لمقدار التعقيد الذي يستطيع البشر إدارته؟ هل وصلنا إلى مستوى من التعقيد يتجاوزنا ببساطة؟ هل مصير كل الأنواع القادرة على التعلّم الجمعي أن ترتطم بجدار التعقيد، وهي النقطة التي تنهار عندها المجتمعات؟ أهذا هو ما منعنا من الاتصال بأي نوع آخر قادر على التفكير الجمعي؟ في الأساطير الإغريقية، تعاقب الآلهة سيزيف، ملك كورنث، لأنه كان مفرط البراعة والطموح. وتحكم الآلهة، مسترشدة بالإنتروبيا ربما، عليه بدفع جلمود صخر إلى أعلى الجبل ثم مشاهدته وهو يتدحرج إلى الأسفل مجدّدًا، مرارًا وتكرارًا إلى الأبد.

ثمة سيناريوات مظلمة، لكن لا يسعنا تجاهلها. فالكون حقًّا لا يكترث لمصيرنا. فهو محيط شاسع من الطاقة التي لا تمثّل فيها الأمواج الفردية أمثالنا إلا ظواهر عابرة وقتية. وقد كتب جوزيف كامبل: «إن صعوبة [كل الأساطير] يوازنها ضمان بأن كل ما نراه ما هو إلا انعكاس لسلطة تدوم، لا يمسها الألم. ولذا فإن القصص تتّسم بأنها عديمة الرحمة وعديمة الرعب؛ مليئة بمتعة غفلية متسامية ترى نفسها في كل الذوات المتصارعة
والمتمركزة حول ذواتها، والتي تولد وتموت عبر الزمن». يجسد العلم الحديث عدم الاكتراث المريع للكون في صورة القانونَيْن الأول والثاني من قوانين الديناميكا الحرارية.

غير أننا نحن البشر لدينا أهداف، مثل كل الكائنات، وننطلق في رحلات طويلة لتحقيق هذه الأهداف، رغم عدم اكتراث الكون. وتصف قصص من جميع الثقافات هذه الرحلات الخطيرة، رحلات لا تنجح إلا أحيانًا. يمرّ المرتحلون بفترات يبدو فيها كل شيء ضائعًا، فترات من المعاناة العظيمة. ثمة مقاطعات مفاجئة وغير متوقّعة لمساعيهم، ويظهر من يمد يد المساعدة، من آلهة أو أصدقاء، وهناك فترات من الحظ الحسن. وهكذا، في كل التقاليد الأسطورية، يمكن للمساعي أن تنجح، وهي تنجح بالفعل. اليقظة، والتصميم، والأمل، هذه هي الفضائل الأساسية لأي شخص في حالة السعي، لأن المرتحلين الذين يفقدون الفرص أو الذين يستسلمون مبكرًا أو الذين ييأسون، يجب أن يفشلوا. وبوسع أي راوٍ تقليديٍّ للقصص أن

يخبرنا بأن هذه هي السمات التي سنحتاجها نحن البشر بينما نواجه مستقبلًا مستعصيًا على التنبؤ ومليئًا بالمخاطر والفرص.

نستشفّ من مناقشتنا للوجه الحسن والقبيح لعصر الأنثروبوسين ماهية الأهداف التي يسعى الإنسان إلى تحقيقها في الوقت الحالي. أول هذه الأهداف هو تجنّب الانهيار. وإذا أمكننا تحقيق ذلك، يصير أمامنا هدفان آخران: ضمان أن تكون فوائد عصر الأنثروبوسين الحسن متاحة لكل البشر، وضمان استمرار الغلاف الحيوي في الازدهار، لأنه لو انهار الغلاف الحيوي فلا يمكن لأي مسعًى آخر أن ينجح. والتحدّي الماثل أمامنا هو تحقيق هذه الأهداف، حتى إذا بدت أحيانًا وكأنها تشير نحو اتجاهات متباينة، أحيانًا نحو التمتّع بحياة الوفرة، وأحيانًا نحو ضبط النفس.

لكيلا يبدو هذا كلامًا طنانًا، إليك الكيفية التي وُصفَ بها المسعى الإنساني في افتتاحية وثيقة الأمم المتحدة المعنونة «تحويل عالمنا»، والمنشورة في العام ٢٠١٥:

ستعمل جميع البلدان والجهات صاحبة المصلحة على تنفيذ هذه الخطة، في إطار من الشراكة التعاونية. ونحن عاقدو العزم على تحرير الجنس البشري من طغيان الفقر والعوز وعلى تضميد جراح كوكبنا وحفظه. ونحن مصممون على اتخاذ الخطوات الجريئة المفضية إلى التحول التي تلزم بصورة ملحّة الانتقال بالعالم نحو مسار قوامه الاستدامة والقدرة على الصمود. ونتعهّد، ونحن مقبلون على هذه الرحلة الجماعية، بألا يخلف الركب أحدًا وراءه.

ويرد في الوثيقة كذلك:

البشر: لقد عقدنا العزم على إنهاء الفقر والجوع، بجميع صورهما وأبعادهما، وكفالة أن يمكن لجميع البشر تفعيل طاقاتهم الكامنة في إطار من الكرامة والمساواة وفي ظل مناخ صحّي.

الكوكب: نحن مصممون على حماية كوكب الأرض من التدهور، بطرق منها توخّي الاستدامة في الاستهلاك والإنتاج، وإدارة موارد الكوكب الطبيعية بصورة مستدامة، واتخاذ إجراءات عاجلة بشأن تغيّر المناخ، حتى يمكن له دعم احتياجات الأجيال الحالية والمقبلة.

الرخاء: نحن مصممون على كفالة أن يتمتّع جميع الناس بحياة يظلّلها الرخاء تلبي طموحاتهم، وأن يتحقّق التقدم الاقتصادي والاجتماعي والتكنولوجي في انسجام مع الطبيعة.

يتبع ذلك ١٧ من أهداف التنمية المستدامة، و١٦٩ من الغايات المحدّدة التي يتعيّن تحقيقها، إذا سار كل شيء على ما يرام، على مدار الخمسة عشر عامًا المقبلة.

من السهل أن نقع فريسة للشك، وقد يكون من الملائم التحلّي ببعض الحذر. ومع ذلك، ففي نظر شخص نشأ في النصف الثاني من القرن العشرين، حين كان هناك فهم ضئيل للغاية لمخاطر عصر الأنثروبوسين القبيح، من المدهش أن نقرأ إعلانًا كهذا يصدر عن كيان يمثّل غالبية الدول على الأرض.

وبعد نشر أهداف التنمية المستدامة بوقت قصير، ظهرت إلى النور وثيقة محورية أخرى: اتفاق باريس للمناخ. جرى تبني هذا الاتفاق في ١٢ ديسمبر ٢٠١٥، في مؤتمر للأمم المتحدة حضرته ١٩٥ دولة. وقد دخل حيّز التنفيذ في ٤ نوفمبر ٢٠١٦، حين صدَّق عليه عدد كافٍ من الدول بصورة رسمية. ويهدف الاتفاق إلى ما يلي:

(أ) إبقاء الزيادة في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة أقل كثيرًا من درجتين مئويتين فوق مستويات ما قبل العصر الصناعي، ومواصلة الجهود الرامية إلى إبقاء هذه الزيادة في درجات الحرارة في حدود ١٫٥ درجة مئوية؛ إدراكًا بأن هذا من شأنه أن يقلّل إلى حدٍّ كبيرٍ من مخاطر وآثار تغيّر المناخ.

(ب) زيادة القدرة على التكيّف مع الآثار الضارة لتغيّر المناخ وتعزيز القدرة على التأقلم مع آثار تغير المناخ وتبنّي تنمية منخفضة انبعاثات غازات الدفيئة على نحو لا يهدد إنتاج الأغذية.

(ج) جعل التدفّقات المالية متّسقة مع السبيل نحو تنمية تتّسم بانخفاض انبعاثات غازات الدفيئة وقادرة على التأقلم مع آثار تغيّر المناخ.

إن التباين بين هاتين الوثيقتين يظهر العديد من الصعوبات التي تواجه السعي نحو عالم أفضل؛ لأنه ليس من الواضح حقًّا ما إذا كان بالإمكان إبقاء انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون في حدود الأهداف المعلنة، من دون أن يستتبع ذلك خفضًا كبيرًا في استخدام الوقود الأحفوري. هل يتّفق ذلك الخفض مع النمو المستدام؟ ربما، إذا زادت مخرجات الطّاقة المتجددة بسرعة كافية. غير أن المهمّة ستكون

أيسر بالتأكيد إذا كان هناك التزام أكبر بإعادة التوزيع واستعداد للقبول بمعدلات أبطأ للنمو الاقتصادي.

إن قصّة الأصل الحديثة الخاصة بنا تقترح تشبيهًا مفيدًا: طاقات التنشيط الكيميائية. إن طاقات التنشيط توفّر الدفعة الأولى التي تحمل التفاعلات الكيميائية على البدء، لكن بمجرّد أن تجري التفاعلات تكون ثمة حاجة إلى قدر أقل من الطاقة. ربما يمكننا التفكير في الوقود الأحفوري كطاقة تنشيط كانت مطلوبة من أجل بدء عالمنا اليوم. أما الآن وقد صار ذلك العالم الجديد المصقول يعمل بكفاءة، هل يمكن أن يستمرّ في العمل بتدفّقات طاقة أصغر وأدقّ، مثل التدفّقات الضئيلة التي تديرها الإنزيمات وتمد الخلايا بالطاقة، إلكترون تلو الآخر أو بروتون تلو الآخر؟ هل يمكننا محاكاة التنفّس، ذلك المكافئ الدقيق وغير المخلّ للنار، لدى أشكال الحياة المعقّدة؟

إن فكرة اعتبار الوقود الأحفوري بمنزلة طاقة تنشيط تشير إلى شيء آخر بخصوص عالمنا. فالديناميكية المضطربة التي سادت القرون الأخيرة سمة تقليدية لكل فترات التدمير الخلاق؛ فهي المكافئ الإنساني لطاقات الجاذبية التي تخلق النجوم. لكن بمجرد أن تؤدّي طاقات التخليق العنيفة عملها، لنا أن نتوقّع وجود نوع جديد وأكثر استقرارًا من الديناميكية، إذ يأخذ شيء جديد مكانه في الكون. ومثل شمسنا، يمكننا ربما الاستقرار في حقبة من الاستقرار الديناميكي، بعد أن نكون قد عبرنا محطة جديدة وبنينا مجتمعًا عالميًّا جديدًا يحفظ أفضل ما في عصر الأنثروبوسين الحسن. ربما تكون فكرة النمو اللانهائي خاطئة بالكامل، وربما تكون الديناميكية الهدّامة التي سادت القرون الأخيرة ظاهرة وقتية. فعلى أي حال، لطالما كان عيش الحياة داخل إطار من الاستقرار الاجتماعي والثقافي هو المعيار المتّبع طيلة السواد الأعظم من تاريخ البشر وفي غالبية المجتمعات الإنسانية. ولهذا السبب يظلّ فهمنا لما يعنيه العيش بصورة ثرية وديناميكية في عالم أقل قدرة على التغيير محفوظًا داخل ثقافات العديد من المجتمعات الأصلية الحديثة التي ترى شعوبها بالأساس على أنها أوصياء على عالم أكبر وأقدم من أنفسها.

ورغم أن فكرة المستقبل الخالي من التقدم المستمر لا تحظى بالشعبية حاليًّا، فإنها ظهرت بصورة دورية في مناقشات الاقتصاديين ذوي التوجّهات الفلسفية. فقد خشي العديد من اقتصاديي القرن الثامن عشر، ومنهم آدم سميث، من المستقبل الخالي من النمو، ورأوا فيه نهاية التقدّم. غير أن جون ستيوارت مِل رحّب بهذا

المستقبل كنقيض مجدّد لعالم السعي المحموم وراء الذهب الذي خلقته الثورة الصناعية. وقد كتب في العام ١٨٤٨: «أعترف بأنني لست مسحورًا بفكرة الحياة التي يعتنقها أولئك الذين يظنّون أن الحالة الطبيعية للبشر هي المعاناة والصراع، وأن التدافع والسحق وشق الطريق عنوة والخطو على أقدام الآخرين، وهي الأمور التي تشكّل النوع الحالي من الحياة الاجتماعية، هي المصير المرغوب من جانب النوع البشري، أو أي شيء بخلاف كونها الأعراض البغيضة لواحدة من مراحل التقدم الصناعي».

وبدلًا من ذلك، كما يقول، فإن: «الحالة الأفضل للطبيعة البشرية هي تلك التي لا يكون فيها أحد فقيرًا، ولا أحد يرغب في أن يكون أغنى، ولا أحد لديه أي سبب يدعوه للخوف من أن يسوء به الحال نتيجة جهود الآخرين لدفع أنفسهم إلى الأمام». وقد قال إن النمو لا يزال مطلوبًا في العديد من الدول الأفقر، لكن الدول الأغنى كانت بحاجة إلى توزيع أفضل للثروة. وفي ضوء الاعتناء بالضروريات الأساسية، فإن مهمّة البشر هي

عيش حياة أكثر إشباعًا بدلًا من مواصلة اكتساب المزيد من الثروة المادية.

إن الحالة الساكنة لرأس المال والسكّان لا تقضي ضمنًا بوجود حالة ساكنة للتحسّن البشري. فسيكون هناك مجال لا يقلّ عمّا سبق لكل أنواع الثقافة العقلية، والتقدّم الأخلاقي والاجتماعي، ومساحة مماثلة لتحسين فن العيش، واحتمالية أكبر لتحسينه، حين تتوقّف العقول عن الانشغال بفن كسب القوت.

وقد حذّر من أن الحالة الساكنة ينبغي اختيارها عمدًا وفي ظروف طيبة قبل أن تُفرَض على البشرية المتردّدة في ظروف أسوأ بكثير. «آمل مخلصًا، من أجل صالح الأجيال القادمة، أنهم سيكونون راضين بحالة السكون، قبل أن تفرض عليهم الضرورة ذلك بوقت طويل».

وقد أدرك كثيرون آخرون أن النمو الاقتصادي ليس مكافئًا للحياة الطيّبة. ففي العام ١٩٣٠، وفي مقال بعنوان «الاحتمالات الاقتصادية لأحفادنا»، ذهب الاقتصادي البريطاني جون مينارد كينز إلى أنه في غضون قرن، ستكون الإنتاجية مرتفعة بما يضمن الوفاء بضروريات الحياة لكل شخص. وفي تلك النقطة، كما يأمل، سيتوقّف الناس عن العمل بجد ويفكّرون بدرجة أكبر بشأن كيفية العيش. كما وصف روبرت كينيدي في مارس ١٩٦٨، قبل اغتياله مباشرة، مواطن قصور الاقتصاد المكرَّس للنمو اللانهائي في الدخل القومي الإجمالي قائلًا:

الدخل القومي الإجمالي يأخذ في الاعتبار تلوث الهواء وإعلانات السجائر، وعربات الإسعاف التي تُخلي طرقنا السريعة من الحوادث... فهو يأخذ في الاعتبار دمار الخشب الأحمر وفقدان عجائبنا الطبيعية نتيجة سلوكياتنا الفوضوية... غير أن الدخل القومي الإجمالي لا يضع في اعتباره صحة أطفالنا، أو جودة تعليمهم، أو متعة لعبهم. وهو لا يتضمّن جمال شِعرنا أو... ذكاء مناقشاتنا العامة أو نزاهة مسؤولينا الحكوميين... فهو، باختصار، يقيس كل شيء ما عدا الأشياء التي تجعل الحياة تستحقّ العيش.

إن فهمنا المتزايد للغلاف الحيوي يخبرنا لماذا نحن بحاجة إلى معاملته بشكل أكثر لطفًا. إلى أي مدى يتّسم الغلاف الحيوي بالمرونة والقدرة على التحمل؟ نحن لا نعرف حقًّا. ربما تكون هناك نقاط تحوّل من شأنها أن تسرّع وتيرة التغيّرات المدمّرة عن طريق إطلاق دورات تغذية راجعة تعزيزية خطيرة. فعلى سبيل المثال، تعكس الأنهار الجليدية، كتلك الموجودة في جرينلاند، ضوء الشمس. وحين تذوب هذه الأنهار فإن الأرض تصير أكثر إظلامًا وتبدأ في امتصاص الحرارة بدلًا من أن تعكسها. وهذا يزيد من كمية الحرارة التي يحتفظ بها الغلاف الجوي، وذلك يذيب المزيد من الأنهار الجليدية، ويقلّل من انعكاسية الأرض، وهو ما يؤدّي إلى الاحترار بدرجة أكبر. وهذه الآليات توضح لماذا نحن بحاجة إلى التفكير مليًّا في حدود الغلاف الحيوي.

وقد عمل مركز استوكهولم للمرونة على مدار أعوام عديدة على تحديد «الحدود الكوكبية»: أي الحدود التي لا تستطيع البشرية عبورها من دون تعريض مستقبلنا للخطر الشديد. وقد حدّدوا تسعة حدود أساسية منها اثنان، هما التغيّر المناخي وانخفاض التنوع الحيوي، لهما دور حيوي لأنه لو تم تجاوز أيهما أو كليهما بصورة خطيرة فقد يُدفَع الغلاف الحيوي إلى ما وراء الحدود المستقرة. بطبيعة الحال لا تزال عملية نمذجة التغيرات على المستوى العالمي في مراحلها الأولى. فلن تنطلق صافرات التحذير لو تم اجتياز أي من هذه الحدود. لكن مع التحلّي بالحذر الملائم، يخلص باحثو المركز إلى أننا قد اجتزنا بالفعل الحد الكوكبي الخاص بالتنوع الحيوي بشكل حاسم، كما أننا نقترب من اجتياز حدود التغير المناخي. لقد عبرنا حدودًا حيوية في تأثيراتنا على تدفّقات الفسفور والنيتروجين، كما أننا قريبون من هذه الحدود في استخدامنا للأرض، خاصّة الغابات. ونحن في

سبيلنا إلى رؤية أضواء التحذير الحمراء على لوحة تحكّم الماكينة العالمية التي بنيناها نحن البشر.
لكن رغم هذه التحدّيات، إذا نجحنا نحن البشر في مسعانا، فكيف سيبدو «عصر الأنثروبوسين الناضج»؟. لن يكون عالمًا مثاليًّا بالطبع، لكن من المهم أن نحاول تخيّل مثل هذا العالم بينما نحاول أن نبنيه. ثمة العديد من العوامل المستعصية على التحديد هنا، إلى درجة أنه لن يكون بوسعنا أن نرسم أي نوع من مخطّطات المعماريين. ومع ذلك فبوسعنا أن نصف بعضًا من السمات الأساسية للعالم الذي يحفظ أفضل ما في عصر الأنثروبوسين الحسن وفي الوقت ذاته يتجنّب مخاطر عصر الأنثروبوسين القبيح.
سيتباطأ النمو السكاني، في نهاية المطاف، ليصل إلى الصفر، وربما يبدأ عدد السكان في الانخفاض. إن معدلات النمو السكاني آخذة في الانخفاض بالفعل في غالبية أجزاء العالم، وفي بعض المناطق بدأ العدد المطلق للبشر في الانخفاض. ثمة خطوات عدّة يمكنها تسريع العملية، ومنها وجود رعاية صحية أفضل للأسر الفقيرة ووجود تعليم أفضل للنساء والفتيات في البلدان الأفقر. ويحذِّر كثيرون من الاقتصاديين من مخاطر تباطؤ النمو السكاني، غير أنه من منظور الغلاف الحيوي يتّضح لنا لماذا يعد النمو السكاني المتواصل أمرًا غير مستدام. وفي عصر الأنثروبوسين الناضج، سيُقضى على الفقر بدرجة كبيرة عن طريق نظم الرعاية الاجتماعية الأفضل، والضوابط الموضوعة على تراكم الثروة المفرطة. فكما رأينا، الفقر المدقع آخذ في التراجع، بصورة نسبية، في أغلب أنحاء العالم. وفي النهاية، بينما يتوقّف النمو الاقتصادي عن كونه الهدف الأساسي للحكومات، سيبدأ الأفراد في تقدير قيمة الحياة ووقت الفراغ على الدخل المتزايد. وفي ظل دعم الحكومات، سيخرج المزيد والمزيد من الناس من الأشكال المتطرّفة لسباق الجرذان. وسوف يؤدي الوفاء باحتياجات هؤلاء الأشخاص إلى تعزيز قطاعات الاقتصاد التي تقدّم الخدمات بدلًا من السلع المادية. سوف يصير التعليم والعلم أكثر أهمية للحكومات بينما تبدأ المعرفة في الحلول محل السلع المادية بوصفها مصدر الثروة والرفاهية. ستتغيّر الأفكار أيضًا؛ الأفكار المتعلّقة بما تبدو عليه الحياة الطيبة والمتعلّقة بأهداف الحكم الرشيد.
ستتعلّم اقتصادات العالم التوقّف عن الاعتماد على الوقود الأحفوري في وقت لاحق من هذا القرن. إن إنتاج الطاقة المتجدّدة يزداد بسرعة بالفعل، لذا لا يعد هذا

هدفًا غير واقعي، رغم أنه سيتطلّب المزيد من التدخّل الجاد من الحكومات مقارنة بما عليه الحال في الحاضر. وعند الجمع بين هذا وإجراءات اقتناص ثاني أوكسيد الكربون الجوّي، ربما يؤدي نظام طاقة عالمي محسَّن إلى تقييد الاحترار العالمي في حدود درجتين مئويتين فوق مستويات ما قبل العصر الصناعي. وستؤدّي زيادة الكفاءة في استخدام الطاقة والمواد في النهاية إلى تقليل استهلاك الطاقة الإجمالي، وستقلّل إعادة تدوير المواد الموجودة من استهلاك المواد والموارد الجديدة وصولًا إلى الصفر تقريبًا.

ستكون الابتكارات والتغيّرات في أنماط الاستهلاك جزءًا من عملية تحوّل أكبر في الزراعة ستجعلها أقل تطلبًا للموارد وأكثر كفاءة. وسيلعب الابتكار العلمي دورًا كبيرًا في هذا الصدد بالتأكيد. وسيُستثمَر الكثير في حماية التنوع الحيوي والمناطق الرطبة والهشّة كالشعاب المرجانية وبيئات التندرا.

وكما كتب مِل، فإن العالم المستقر ليس بحاجة إلى أن يكون عالمًا راكدًا. وفي الواقع، سيقدّم هذا العالم فرصًا غنية لأشكال الفن الجديدة، والحياة الاجتماعية الممتدّة والمحسَّنة، وطرقًا جديدة أقل استغلالًا للتفاعل مع العالم الطبيعي. وهنا، سيكون على المجتمعات الحديثة تعلّم الكثير من أولئك الذين حفظوا تقاليد الماضي، من المجتمعات التي عاشت لآلاف الأعوام في علاقة أكثر استقرارًا مع البيئة المحيطة بها. فهل من المعقول أن نأمل في تحسن جودة الحياة لعدد كبير من الأشخاص في هذا العالم، حتى لو لم يزدد متوسط استهلاك الموارد؟

العديد من الظروف المثالية لعبور هذه المحطة الجديدة آخذة في الظهور بالفعل. وهي تتضمّن الثروة الفكرية المذهلة للبحث العلمي الحديث، وفهمًا أفضل للكيفية التي يعمل بها الغلاف الحيوي، ووعيًا متزايدًا بأننا نحن البشر نتقاسم مصيرًا مشتركًا في موطننا الوحيد، كوكب الأرض. سنحتاج أيضًا إلى صور نابضة بالحياة لمستقبل أفضل، من أجل دفعنا إلى العمل اليوم. فالأمل، على أي حال، فضيلة من الضروري التحلّي بها بينما نحاول بناء عالم أفضل، وكذلك اليقظة (وهنا سيساعد وجود الكثير من العلم ذي الأساس السليم)، والتصميم (وهنا ستلعب السياسات دورًا محوريًّا).

بينما أكتب هذا في العام ٢٠١٧، يبدو التصميم هو الفضيلة الأقل حضورًا. فمن المدهش كيف أن الحكومات في كل أنحاء العالم تؤيّد بالكلام فقط المسعى الذي وصفته من قبل. لكن إلى الآن لا يوجد إجماع قوي حول هذا المسعى، ويظلّ

الكثيرون مقتنعين بأن أضواء التحذير الحمراء سببها مفاتيح معطوبة وعلم رديء، وقلّة قليلة فقط هي التي تمتلك رفاهية التفكير على المستويات العامّة المطلوبة كي نتخيّل بجدّية

المستقبل القريب. إن غالب الناس، وخاصّة شديدي الفقر، عليهم أن يركّزوا على الاحتياجات والأهداف الشخصية، وغالبية السياسيين ورواد الأعمال عليهم أن يركّزوا على القضايا الأكثر إلحاحًا. فالحكومات معنية بحدودها القومي، وهي تنافسية، ما يعني أن الثروة والسلطة الخاصة بكل دولة منفردة تتضح بدرجة أكبر في الحسابات السياسية أكثر من احتياجات العالم ككل. وغالبية الحكومات مرتبطة كذلك بالأهداف قصيرة الأجل نتيجة الطرق التي يُنتخَب بها المسؤولون أو يُختارون. وقلّة قليلة منها فقط هي التي تستطيع تحديد أهداف ثابتة وواقعية لمدة ثلاثين عامًا في المستقبل، ومع ذلك فهذه هي الأطر الزمنية التي ستجدّد نتيجة السعي نحو عالم أفضل. وأخيرًا، في العالم الرأسمالي، غالبية المشروعات محكومة بالحاجة إلى تحقيق الربح، وفي الحاضر يشير تحقيق الربح عادة في اتجاهات مختلفة إلى السعي نحو الاستدامة.

ما هي إذًا فرص وجود إجماع عالمي ناشئ حول أهمية هذا المسعى؟ واحدة من أقوى الدلائل الواعدة هي السرعة التي تم فيها الوصول إلى إجماع علمي، والمنعكس في وثائق مثل أهداف التنمية المستدامة الصادرة عن الأمم المتّحدة واتفاق باريس للمناخ. فمنذ ثلاثين عامًا لم يكن من المتصوّر صدور مثل هذه الإعلانات. ربما نكون أيضًا قريبين من نقطة تحول اقتصادية يتضح فيها أن السعي ذاته مربح ومتّفق مع الأهداف المتطورة للرأسمالية. وإذا حدث هذا، فإن الطاقات الابتكارية والتجارية الهائلة للرأسمالية الحديثة وسلطة الحكومات التي تعتمد على الثروة الناتجة عن الرأسمالية ربما تحتشد خلف هذا السعي وتمنحه دفعة قصيرة من نفس نوعية الدفعة التي أعطتها الحكومات الرأسمالية للثورة الصناعية. لكن اليوم، في عالمنا الأكثر تعقيدًا، سيعتمد سلوك الحكومات، جزئيًّا، على وجود ناخبين يأخذون هذا المسعى بجدّية، وذلك سيعتمد بقدر ما على الكيفية والإقناع اللذين سيصف بهما الناس المسعى ذاته.

وإذا نجحنا في إدارة عملية الانتقال إلى عالم أكثر استدامة، كنوع من المحطّة التاسعة، فسيكون من الجلي أن التاريخ الإنساني يشكّل حقًّا محطة واحدة ذات تعقيد متزايد يصل إلى ذروته في الإدارة الواعية للغلاف الحيوي بأكمله. فنحن

نرى التاريخ الإنساني على هيئة مقاطع مجزأة لأننا قريبون للغاية منه وحسب. لقد بدأت المحطّة الأكبر والمجمَّعة مع التعلّم الجمعي. ومثلما عملت الجاذبية على تركيز سُحُب المادة في الكون المبكر، فقد ولَّد التعلّم الجمعي مجتمعات بشرية أكثر تعقيدًا وكثافة، وسرَّع من عملية التغيير، وخلق صورًا جديدة من الديناميكية، وذلك عن طريق منح البشر سيطرة متزايدة على الغلاف الحيوي. كان من الممكن أن يستمرّ التغيير المتسارع بلا نهاية إلى أن يؤدي إلى انفجار كارثي؛ هو المعادل الإنساني للمستعرات العظمى ربما. لكن إذا نجحنا في إدارة عملية الانتقال نحو عالم مستدام، فسيبدو، من المنظور المستقبلي، كما لو أننا نحن البشر أوجدنا صورة جديدة وأكثر استقرارًا من التعقيد، تمامًا مثلما أوجد الاندماج النووي بنًى جديدة وأكثر استقرارًا للنجوم عن طريق مقاومة الانكماش الجذبوي. حينئذٍ سنرى أن المحطّات من السادسة إلى التاسعة قد أوجدت نوعًا جديدًا من الغلاف الحيوي على كوكب الأرض، له منظم حرارة جديد وأشكال جديدة وأكثر وعيًا من التنظيم مدمجة داخل المجال نو، مجال العقل. ماذا سنطلق على هذه المحطّة؟ الثورة البشرية؟

ما وراء البشر: المستقبل في الألفيات القادمة ومستقبل الكون

لنتحلّى بالتفاؤل ّونتخيَّل عالمًا نجح فيه مسعانا. لقد تعاملنا بنجاح مع المحطة التاسعة، ومعظم البشر يعيشون حياة مزدهرة داخل مجتمع عالمي مستقرّ على علاقة أكثر استدامة بالغلاف الحيوي. يعني ذلك أن المجتمعات الإنسانية ربما تظلّ موجودة لآلاف عدّة من الأعوام، وربما لمئات الآلاف من الأعوام.

إن التأمّل في ما سيأتي بعد ذلك يأخذنا إلى العالم المرعب والمستعصي على التنبؤ، لكن اليوتوبي ربما، الذي سيوجد في المستقبل الوسيط. على هذا النطاق لا تعدو نماذجنا كونها محض تخمينات، واحتمالات أن يحالفها الصواب تعادل في دقتها صور القرن التاسع عشر التي تظهر الأرستقراطيين يرتدون بدلات مقلّمة ويركبون درّاجاتهم إلى القمر. وأفضل ما يمكن فعله هو استعراض قائمة بالاحتمالات المبنية على الاتجاهات التي يمكننا رؤيتها اليوم.

هل سنشهد ظهور بنى عالمية حكومية تفوق جزئيًّا الدول القومية وفي النهاية تتخلّص من خطر الحرب النووية؟ هل ستكون طاقة الاندماج منجم الثراء القادم الجديد؟ وإذا كان الحال كذلك، فهل سنستخدمها بحساسية أكبر تجاه تأثيراتها

المدمرة على الغلاف الحيوي، كأداة يمكنها وضع أسس الحياة الطيبة لكل البشر؟ أم هل سنجد طرقًا للسيطرة على تدفّقات أوسع للطاقة من أجل بناء حضارات ذات تعقيد لا يخطر على بال؟ وقد ذهب عالم الفلك الروسي نيكولاي كارداشيف إلى أنه لو وُجدَت حضارات أخرى قادرة على شيء مثل التعلّم الجمعي، فسيتعلم الكثير منها كيفية اقتناص واستخدام طاقة كواكبها الأم، بينما سيتعلم بعضها كيفية إدارة طاقة مجموعاتها الشمسية كلها، وربما يتمكّن البعض الآخر من تعلم كيفية إدارة طاقة مجَرّات بأكملها.

هل سيهاجر أحفادنا إلى أماكن أخرى بخلاف كوكب الأرض؟ هل سيبدأون في تعدين الكويكبات أو إنشاء مستعمرات على المريخ أو القمر؟ أم (لو أننا تطلّعنا بعيدًا بما يكفي في المستقبل) على كواكب صالحة للحياة تدور حول مجموعات شمسية قريبة؟ هل سنبتكر أشكالًا جديدة للحياة، أو محاصيل غذائية جديدة تتّسم بالكفاءة من حيث استهلاك الطاقة، أو ميكروبات يمكنها علاج الأمراض أو كبح مرض السرطان؟ هل سنتمكّن من بناء ماكينات دقيقة، تُجري جراحات نانوية، يمكنها اختراق أجسامنا وإصلاح الأعضاء التالفة، أو تشييد مبانٍ من دون إشراف بينما تتبع تصميمات المعماريين الإلكترونية؟ هل سنبني ماكينات أبرع منا بكثير؟ وإذا حدث ذلك، فهل يمكننا أن نثق في أننا سنسيطر عليها؟

هل سنبني بشرًا جددًا؟ هل ستجعلنا التحسينات على المستوى الميكروسكوبي والعياني أشخاصًا نصف آليين، وتمنحنا حياة أطول وأكثر صحة، وفي النهاية تحوّلنا إلى شيء مختلف، شيء عابر للبشر؟ هل ستُمَكّن التكنولوجيا الجديدة البشر من تبادل الأفكار والخواطر والمشاعر والصور بصورة فورية ومتواصلة، بحيث تخلق ما يشبه العقل العالمي الشاسع الواحد؟ هل سيفصل المجال نو نفسه جزئيًا عنا نحن البشر ويتحوّل إلى طبقة رفيعة موحَّدة من العقل تحلِّق فوق الغلاف الحيوي؟ وفي خضم كل هذا، متى سنقرّر أن التاريخ البشري (كما نفهمه اليوم) قد انتهى لأن نوعنا لم يعد بالإمكان وصفه بأنه «الإنسان العاقل»؟

هل سيغير العلم الجديد جذريًا من فهمنا لأنفسنا وللكون، بحيث يقلب قصة الأصل التي نمتلكها اليوم رأسًا على عقب؟ إن مقارنة قصص الأصل المعاصرة بتلك التي وجدت منذ مائة عام يشير إلى أن هذا من الممكن أن يحدث قريبًا جدًّا، ولمرات عدة.

وبالطبع، هناك أيضًا المجاهل التي لا ندري بوجودها من الأساس، والتي يمكنها تحويل المسارات المستقبلية في ثانية أو اثنتين. إن العلم والتكنولوجيا الحاليَّين من الممكن أن يكونا كافيَيْن بالفعل لتوقّع اصطدام الكويكبات بالأرض وربما فعل شيء حيال ذلك. لكن قد توجد كذلك كوارث أخرى غير متوقَّعة، على غرار... لقاء أشكال أخرى من الحياة. وإذا قابلناها، فهل سننظر إليها عبر ميكروسكوب (أو أعين آلية محسَّنة)؟ أم هل ستلتقطنا بملاقط كبيرة، وتضعنا في أطباق اختبار، ثم تتفحّصنا عبر الميكروسكوبات؟

من الملائم التحوّل إلى المستويات الأكبر التي يمكننا فيها التركيز مجدّدًا على الأشياء البسيطة نسبيًّا، كالكواكب والنجوم والمجَرّات، والكون ذاته.

يمكننا تتبع حركة الألواح التكتونية، وبذا يمكننا أن نخمِّن بشكل تقريبي المواضع التي ستكون فيها القارات بعد مائة مليون عام من الآن. في الوقت الحالي، يبدو أن الألواح القارّية ستجتمع في قارة واحدة ضخمة أُطلق عليها بالفعل اسم قارة أماسيا، لأنها ستضم الأمريكتين وآسيا معًا. وسيتحدّد المصير النهائي لكوكب الأرض نتيجة تطوّر الشمس. ستعيش شمسنا لنحو تسعة مليارات عام، لكن لو أنها تطوّرت كما يحدث مع النجوم الأخرى الشبيهة، ففي غضون بضعة مليارات من الأعوام ستبدأ في التمدّد وستتحوّل إلى عملاق أحمر. ستجد الأرض نفسها وقتئذٍ داخل الطبقات الخارجية للشمس. وبينما تسخن الأرض، ستصير الحياة مستحيلة لأشكال الحياة الكبير، وربما تحل فترة طويلة لا يحيا فيها إلا البكتيريا العتيقة، كتلك التي تعيش في الينابيع الحارّة في متنزه يلوستون. وفي النهاية، حتى هذه الكائنات ستختفي بينما تصير الأرض مجدبة ثم تبتلعها وتبخّرها الطبقات الخارجية من النجم الأحمر العملاق غير المستقرّ والمستعصي على التنبؤ. هذه هي نهاية كوكب الأرض ونهاية كل أحفادنا الذين سيظلّون على قيد الحياة عليه، ما لم يكونوا قد انتقلوا إلى النطاقات الخارجية للمجموعة الشمسية أو إلى مجموعة شمسية أخرى. أما عن الشمس، فبعد فترة طويلة تقضيها كعملاق أحمر، ستطرح عنها في النهاية طبقاتها الخارجية، وتتحوّل إلى قزم أبيض، وتنتقل إلى قاع مخطط هرتزبرونج-راسل وتستقر هناك بينما تبرد حرارتها، لمئات المليارات من الأعوام.

في الوقت الذي تنتهي فيه الشمس، ستصطدم مجرتنا بالمجَرّة المجاورة لها، أندروميدا. سيكون ذلك الحدث هادئًا، أشبه بالاصطدام بين سحابتين. لكن داخل كل مجَرّة سيكون هناك كثير من الاضطراب بينما تجذب النجوم بعضها البعض

بطرق لا يمكن التنبؤ بها. وستبدو المجَرّة الجديدة، مجَرّة درب التبانة/أندروميدا، بشكل أكثر فوضوية من شكل المجرّتين الحلزونيتين الأنيقتين اللتين تألّفت منهما.

ماذا عن الكون ككلّ؟ اليوم، غالبية علماء الكونيات واثقون بأن هناك قصة يمكن روايتها، لأن مستقبل الكون يبدو أنه يعتمد على عدد صغير من المتغيّرات. والمتغيّرات الحيوية هي معدل التمدّد ومقدار المادة/الطّاقة في الكون. اعتقد البعض من قبل أن قوّة الجاذبية الخاصّة بمادة الكون من شأنها أن تكبح جماح التمدد، وتعكس اتجاهه، بحيث ينكمش الكون مجددًا إلى ذرة بدائية، ثم تنفجر هذه الذرة وتتمدّد بحيث تخلق كونًا جديدًا، ثم يتكرّر هذا التتابع لعدد لا نهائي من المرات. لكن منذ أن اكتشفنا في أواخر تسعينيات القرن العشرين أن معدل التمدّد يزداد، يبدو أن من المؤكّد وجود نوع من الطاقة المظلمة القوية بما يكفي للتغلّب على قوة الجاذبية الآتية من كتلة الكون وطاقته. وهذا يشير إلى أن الكون سيواصل التمدّد إلى الأبد وأن التمدّد سيصير أسرع وأسرع وأسرع.

بينما نتحدّث عن المستقبل البعيد للكون، سنبدأ في إدراك أن القصة التي رويناها إلى الآن ما هي إلا تمهيد وحسب. فموكب الأشياء كلّها لا تزال تنتظره رحلة طويلة وشاقّة أحيانًا، ونحن البشر نعيش في بداية تاريخ الكون، ولا تزال قصته في بداياتها. فكوننا لا يزال يافعًا ومفعمًا بالطاقة، ولا يزال أمامه كثير من الوقت ليعيشه وكثير من البنى المعقّدة الجديدة ليبنيها.

لكن في المستقبل البعيد للغاية، بعد فناء كل شيء بمليارات لا تُحصى من الأعوام، ستصير القصّة أكثر إظلامًا، على المستويين الحرفي والمجازي. فسوف يتمدّد الكون أسرع وأسرع، وستختفي المجَرّات البعيدة وكأنها سفن تجاوزت أفق الزمكان، وفي النهاية أي شخص أو أي شيء سيتبقى في مجرتنا سيشعر بالوحدة الشديدة. ستواصل النجوم التشكّل والاحتراق حتى (١٥)١٠ عامٍ في المستقبل، حين يكون عمر الكون أكبر مما هو عليه اليوم بعشرة آلاف مرة. بحلول ذلك الوقت سيظهر تأثير العمر على الكون، لأن النجوم الأخيرة ستكون قد توقّفت عن الاحتراق، وستكون أضواؤها قد انطفأت. وستتحوّل مجرتنا إلى مقبرة مليئة بجمرات النجوم والكواكب الآخذة في البرودة.

لكن ستظلّ هناك أشياء تتحرّك في هذه المقبرة؛ إذ ستواصل الثقوب السوداء ابتلاع بقايا النجوم والكواكب، وحين تنتهي من ذلك ستتحوّل إلى بعضها البعض في حرب أهلية إلى أن يتبقّى منها وحسب بضعة ثقوب سوداء عظيمة الحجم.

وستقبع هذه الثقوب كما هي لفترات يستحيل تخيلها، ربما لمدة ١٠ عامٍ، ثم تتبخّر. وسيتبيّن أن كل شيء بدا دائمًا في كوننا ما هو في الحقيقة إلا زائل. وربما يتّضح أن الفضاء والزمن محض شكلين، مجرد تموجات في كون متعدّد أكبر. وستدمر الإنتروبيا في النهاية كل البنى وأشكال التنظيم.

على الأقل في كون واحد، لكن ربما توجد أكوان أخرى لا تزال حية.

شكر وتقدير

لا يسعني البتة التفكير في كل الأشخاص الذين ساعدوني في هذا الكتاب عن طريق تعليمي، وقراءة مسوّدة المخطوطات الأولية، وتوجيهي نحو الكتب المهمّة والمؤلفين المهمّين، والتعليق على محاضراتي، وإلقاء محاضرات على مسامعي. نحن البشر نسبح في بحر من الأفكار، وكتَابٌ مثل هذا يُبنى عن طريق اقتناص الأفكار بينما هي تطفو، وربطها بأفكار أخرى وتعديلها، وربما تحريفها، وربما العثور على روابط جديدة. ويمكنني تتبّع أفكار معينة وصولًا إلى أفراد بعينهم، بل وإلى محادثات معيَّنة، لكن الكثير منها استقر في عقلي واختمر، أحيانًا على مدار أعوام عديدة، قبل أن يظهر في جزء آخر من عقلي بأشكال جديدة من دون ملصقات تذكّرني بالمصادر. لهذا لا أعرف مَن يجب أن أشكر على الكثير من أفكار هذا الكتاب. وكل ما بوسعي فعله هو أن أقدّم شكرًا عامًّا إلى زملائي وأصدقائي العديدين وإلى عملية التعلّم الجمعي الثرية التي أتخمت عقلي بعدد لا يُحصى من الأفكار من عالم اليوم المدهش والمثمر. إن وضع تاريخ جامع يعد مشروعًا جماعيًّا، نتاجًا لتضافر العديد والعديد من العقول.

يمكنني ان أشكر البعض بشكل مباشر. فقد اجتمعت مجموعة صغيرة من الباحثين ذوي التفكير المتشابه حول فكرة وضع تاريخ جامع وما شابهه، وعملت على دعم التعليم والأبحاث الدائرة حول التاريخ الجامع. وتتضمّن هذه المجموعة روادًا أمثال الفيزيائي الفلكي إريك تشايسون، وعالم الاجتماع دون جودسبلوم، وكل من ساعدوا في تكوين ورعاية «رابطة التاريخ الجامع»، وهم: والتر ألفاريز ومورجان بيهماند (وزملاؤهما العديدون في جامعة الدومينيكان) وكريج وباميلا بنجامين وسينثيا براون وليونيد جرينين ولويل جوستافسون وأندريه كوروتاييف ولوسي لافيت وجوناثان ماركلي وجون ميرز (الذي بدأ تدريس التاريخ الجامع في الوقت ذاته الذي بدأتُ أنا فيه ذلك) وأليساندرو مونتناري وإستر كواداكرز وباري رودريج وفريد سباير وجو فوروز وصان يو وآخرون كثيرون ساعدوا في بناء قصة التاريخ الجامع. لقد عملت تحديدًا على نحو وثيق مع كريج بنجامين وسينثيا براون في إعداد أول كتاب جامعي عن التاريخ الجامع وكانت عملية تعاون ودودة ومثمرة للغاية. وللأسف الشديد فإن صداقتي مع سينثيا انتهت بوفاتها في ١٥ أكتوبر ٢٠١٧، وسيفتقدها الجميع في هذا المجال الذي تعد واحدة من رواده. وقد

دعم مؤرخون عالميون كثيرون فكرة التاريخ الجامع على مر الأعوام، بداية من فيليبي فرنانديز-أرمستو وبوب باين وتيري بيرك وروس دان وبات مانينج وميري وايزنر-هانكس وغيرهم. وقد أضفى اثنان من المؤرخين العالميين العظام التقدير والاحترام للمجال الجديد، وهما: ويليام إتش ماكنيل، الذي رأى التاريخ الجامع بوصفه المرحلة المنطقية التالية في ما وراء التاريخ العالمي؛ وجيري بنتلي، الذي كان أول من دعاني إلى نشر أبحاثي عن العلاقة بين التاريخ الجامع وتاريخ العالم. وقد دعتني هيئة التدريس إلى إلقاء سلسلة من المحاضرات عن التاريخ الجامع ومنح بيل جيتس، الذي استمع إلى تلك المحاضرات، دفعةً قوية للمجال عن طريق دعم إنشاء مقرر دراسي مجاني عبر الإنترنت عن التاريخ الجامع للمدارس الثانوية، ودعاني لإلقاء كلمة في أحد مؤتمرات TED عن التاريخ الجامع في العام ٢٠١١. وقد تمخّض دعمه عن «مشروع التاريخ الجامع»، الذي أُدير بكفاءة تامة، أولًا على يد مايكل ديكس وزملائه من مؤسسة Intentional Futures ويُدار الآن بواسطة فريق يرأسه أندي كوك وبوب ريجان. ومن بين المشاركين في إنشاء مشروع التاريخ الجامع مئات من المدرّسين والمدارس والطلاب الذين تبنّوا تلك المقامرة الجسورة المتمثّلة في تدريس وتعلّم تلك المقاربة الطموحة للماضي. وقد سمح لي المنتدى الاقتصادي العالمي بالتحدّث عن التاريخ الجامع باعتباره مشروعًا عالميًّا، وفي الاجتماعات السنوية في دافوس حظيت بشرف تقديمي من جانب اثنين من الفائزين بجائزة نوبل: نائب رئيس الولايات المتحدة الأمريكية السابق آل جور، والفيزيائي الفلكي الاسترالي برايان شميدت. كما حظيت بشرف زيارة بحيرة مونجو ومقابلة مارس بابين، وهي واحدة من كبار شعب موتي موتي، والتي لعبت أسرتها دورًا حيويًّا في إعادة بقايا سيدة مونجو ورجل مونجو إلى أوطانهم.

قضيت غالبية حياتي المهنية في جامعة ماكواري في سيدني، وقد دعمت الجامعة فكرة التاريخ الجامع منذ أن بدأتُ تدريسه، مع زملاء من أرجاء الجامعة، وذلك في العام ١٩٨٩. وأتوجّه بالشكر تحديدًا إلى بروس داوتون وزملائه لدعم تدريس التاريخ الجامع، وإنشاء معهد التاريخ الجامع بجامعة ماكواري، الذي يقوده ببراعة أندرو ماكينا وتريسي سوليفان وديفيد باكر (الذي، بحسب علمي، كان أول أكاديمي يحصل على درجة الدكتوراه في التاريخ الجامع). وعلى مر الأعوام قدم زملائي في قسم التاريخ الحديث دعمًا وفيرًا لهذه الطريقة الجديدة في التفكير بشأن التاريخ،

وقام كثيرون منهم بتدريس التاريخ الجامع إلى جانبي. أتوجّه بالشكر إليهم جميعًا، وخاصة مارني هيوز-وارينجتون وبيتر إدويل وشون روس. كما أشكر طلابي الذين درسوا معي التاريخ الجامع والذين جعلوني أحافظ على استقامة مساري وحدّة تركيزي عن طريق إثارة أبسط وأعمق الأسئلة. كما قضيت ثمانية أعوام ممتعة في جامعة سان دييجو الحكومية، التي قدّم فيها أساتذة التاريخ هناك الدعم والرؤى الثاقبة بشأن الكيفية التي سيتبوأ بها هذا النهج الجديد للتاريخ موضعه في المجتمعات الأكاديمية المتنوّعة بالولايات المتحدة، والتي كان طلاب الدراسات العليا بها يتحلّون بانضباط شديد ومهارة تدريس للتاريخ الجامع.

قدم خبراء عديدون في مجالات مختلفة أفكارًا جديدة أو صحّحوا لي المسار، ومن بينهم لورانس كراوس وتشارلز لاينويفر وستيوارت كاوفمان وآن ماكجراث وإيان ماكالمان وويل ستيفان ويان زالاسيفيتش وكثيرون غيرهم. وقد تلقّيت دعمًا كبيرًا وردود أفعال ثرية من المحرّرين في دار ليتل براون وبينجوين، وهم: تريسي باهر وتشارلي كونراد ولورا ستيكني. كما أشكر تريسي روي على تحريرها الدقيق والثاقب للنص. وأدين بكثير من العرفان إلى جون بروكمان، الذي دعم فكرة هذا الكتاب منذ اللحظة التي اقترحته فيها.

تكرّم عدد من الأصدقاء بإلقاء نظرة والتعليق على مسوّدات هذا الكتاب، ومنهم كريج بنجامين وسينثيا براون ونيك دومانيس وكوني إلوود ولوسي لافيتي وآن ماكجراث وبوب ريجان وتريسي سوليفان وإيان ويلكنسون.

بالنسبة إلى أسرتي، صار موضوع التاريخ الجامع شيئًا أشبه بالصناعة الأسرية. فقد ألقى كل من شاردي وإيميلي وجوشوا نظرة على مسوّدات هذا الكتاب، وكثيرًا ما أرسلتني تعليقاتهم وأفكارهم على مر السنين في اتجاهات جديدة. أدين إلى شاردي بالفكرة العميقة التي مفادها أن التاريخ الجامع هو في الواقع قصة أصل حديثة. وأدين لهم جميعًا، ولعائلتي الأكبر (بما في ذلك أمي، التي كانت أول معلمة لي)، بعرفان عميق صادر من شخص نعم في حياته بلطف وحب أولئك المقرّبين منه. أهدي هذا الكتاب إلى أسرتي، وإلى حفيدَيَّ دانيال ريتشارد وإيفي روز مولي، وإلى كل طلابي في كل مكان بينما يباشرون التحدّي العظيم المتمثّل في بناء عالم أفضل.

ملحق إحصاءات عن التاريخ الإنساني

ملحق
إحصاءات عن التاريخ الإنسانى

إحصاءات عن التاريخ الإنساني في عصري الهولوسين والأنثروبوسين*

العصر	أ: العام صفر إلى 2000 ق.م.	ب: عدد السكان (بالمليون)	ج: إجمالي استهلاك الطاقة بالمليون جيجاجول/العام (= 0,001 إكساجول) (B*D)	د: استهلاك الطاقة لكل نسمة بالجيجاجول/نسمة/العام (أول 3 أرقام هي التقديرات العظمى)	هـ: معدل الأعمار (الأعوام) (أول 3 أرقام هي التقديرات العظمى)	و: أكبر المستعمرات البشرية (بالآلاف) أول رقم هو التقدير الأكبر
الهولوسين	10000-	5	15	3	20	1
	8000-					3
	6000-					5
	5000-	20	60	3	20	45
	2000-	200	1000	5	25	1000
	1000-	300	3000	10	30	1000
الأنثروبوسين	200-	900	20700	23	35	1100
	100-	1600	43200	27	40	1750
	0	6100	457500	75	67	27000
	10	6900	517500	75	69	

* الأعمدة من (أ) إلى (هـ) مبنية على كتاب فاسلاف سميل Harvesting the Biosphere، loc ٤٥٢٨ كيندل، العمود (و) مبني على كتاب إيان موريس Why the West Rules - for Now، بالإضافة إلى إدخال بيانات العشرة آلاف عام.

مسرد المصطلحات

ها هي قائمة بالمصطلحات الفنّية والعامّة المستخدمة بشكل بارز في هذا الكتاب.

خطوط الامتصاص: خطوط داكنة تظهر عند تحليل ضوء النجم باستخدام منظار التحليل الطيفي، وهي تشير إلى وجود عناصر معينة امتصت بعضًا من طاقة ضوء النجم ويمكن استخدامها في رصد حركة الأجرام البعيدة على غرار خطوط الانزياح الداكنة نحو الطرق الأحمر أو الأزرق من الطيف.

التراكم: العملية التي تتجمّع بها المادة التي تدور حول النجم كي تشكل الكواكب والأقمار والكويكبات.

طاقة التنشيط: دفعة مبدئية من الطاقة تبدأ تفاعلات من المحتمل أن تولد قدرًا أكبر بكثير من الطاقة، مثل عود الثقاب الذي يبدأ حريقًا في غابة.

التشعّب التكيفي: فترات من التطور والتنوّع البيولوجي السريع، عادة ما تتبع حوادث الانقراض الشامل.

مجتمعات الصّيد والجمع الرغدة: صيادون وجامعو طعام مستقرون أمثال النطوفيين، موجودون عادة في مناطق ذات وفرة طبيعية في الموارد.

الحضارات الزراعية: مجتمعات مكوَّنة من ملايين الأشخاص الذين يعيشون على الزراعة وتتسم بوجود ودول وبيروقراطيات وجيوش وطبقات اجتماعية ونظم كتابة.

الحقبة الزراعية: تلك الحقبة من التاريخ الإنساني التي هيمنت فيها تكنولوجيات الزراعة، وقد بدأت بعد العصر الجليدي وانتهت منذ قرنين أو ثلاثة قرون مضت.

الزراعة: مجموعة من التكنولوجيات التي مكّنت البشر من تعظيم تدفّقات الطاقة والموارد المتاحة لهم عن طريق استغلال البيئة لزيادة إنتاج النباتات والحيوانات المفيدة لهم.

عصر الأنثروبوسين: أحدث عصور التاريخ الإنساني وفيه صار البشر القوة الأساسية للتغيير في الغلاف الحيوي، وقد اقتُرح بوصفه عصرًا جيولوجيًّا جديدًا، يتبع عصر الهولوسين.

المادة المضادة: جُسَيْمات دون ذرية مماثلة لجُسَيْمات دون ذرية أخرى لكن لها شحنات معاكسة، كالبوزيترونات (وهي إلكترونات موجبة الشحنة)، وعند التقاء المادة والمادة المضادة معًا، فإنهما تفنيان وتتحوّلان إلى طاقة صافية.

المراجحة: الشراء بسعر بخس في أحد الأسواق ثم البيع بسعر مرتفع في سوق آخر من أجل تحقيق ربح ضخم.
العتائق: كائنات بدائية النوى وحيدة الخلية، والعتائق واحدة من نطاقات الحياة الثلاثة الرئيسية. انظر أيضًا البكتيريا وحقيقيات النوى.
الدهر السحيق: أحد الأقسام الأربعة الرئيسية في تاريخ كوكب الأرض، ويمتد من ٤ مليارات عام مضت إلى ٢,٥ مليار عام مضت.
الشمعة المعيارية الفلكية: جرم فلكي، كالمتغيرات القيفاوية أو المستعرّات العظمى من النوع ١a، يمكن تحديد المسافة إليه، وهذا يتيح استخدامه لقياس المسافة إلى الأجرام الأخرى.
الذرَّة: أصغر أجزاء المادة العادية، وتتألف من بروتونات ونيوترونات وإلكترونات، وقد تكون المادة الذرّية مسؤولة عن نسبة ٥ بالمائة فقط من كتلة الكون. انظر أيضًا الطاقة المظلمة والمادة المظلمة.
الأدينوسين ثلاثي الفوسفات: جُزَيْء يُستخدَم في جميع الكائنات الحية لحمل الطاقة.
البكتيريا: كائنات بدائية النوى وحيدة الخلية موجودة في نطاق البكتيريا، وهي واحدة من نطاقات الحياة الثلاثة الرئيسية. انظر أيضًا العتائق وحقيقيات النوى.
علم كونيّات الانفجار العظيم: فكرة نموذجية ظهرت في ستينيات القرن العشرين لتفسير ظهور الكون من تركيز ضئيل مكثّف للطاقة منذ نحو ١٣,٨٢ مليار عام.
الغلاف الحيوي: مجال كوكب الأرض الذي تهيمن عليه وتشكله الحياة ومنتجات الكائنات الحيّة.
الثقب الأسود: منطقة عالية الكثافة لدرجة أنه لا يستطيع شيء الإفلات من قوة جاذبيتها، ولا حتى الضوء، وعادة ما تتكوّن حين ينهار نجم فائق الضخامة في نهاية حياته. ربما توجد ثقوب سوداء في مراكز كل المجَرّات.
انفجار العصر الكمبري: الزيادة المفاجئة في أعداد الكائنات الكبيرة ذات أجزاء الجسم الصلبة منذ نحو ٥٤٠ مليون عام.
الرأسمالية: منظومة اجتماعية اقتصادية يهيمن عليها النشاط التجاري والتجار، وفيها تستحسن الحكومات التجارة لأن كثيرًا من عائداتها تأتي من التجارة.
الكربون: العنصر السادس في الجدول الدوري، وهو العنصر الأساسي في الكائنات الحيّة بسبب البراعة التي يربط بها نفسه بكل العناصر الأخرى.

المادة الحفازة: جُزَيْء (بروتين عادة) يسهّل تفاعل كيميائي معين عن طريق خفض طاقة التنشيط المطلوبة، ولا يتغير الجُزَيْء نفسه نتيجة هذا التفاعل.
المتغير القيفاوي: نجم يتباين سطوعه في نمط دوري. وهناك نوعان رئيسيان من المتغيرات القيفاوية، ونظرًا لأن معدل التباين مرتبط بسطوعها الحقيقي، يكون من الممكن تقدير المسافة التي تفصلنا عنها ومن ثم يمكن استخدامها كشموع معيارية فلكية لقياس المسافات الفلكية.
التناضح الكيميائي: حركة الأيونات عبر تدريج تركيزها خلال عشاء. وفي الخلايا، يستخدم الأدينوسين ثلاثي الفوسفات سينثاز هذه الطّاقة من أجل شحن جُزَيْئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات بالطّاقة.
التعلّم الجمعي: عملية يتفرّد بها البشر يجري وفقًا لها مشاركة المعلومات بين الأفراد بدقة وحجم يسمحان بتراكمها من جيل إلى آخر، وهي عملية محورية لقدرة نوعنا المتزايدة على التحكّم في المعلومات والغلاف الحيوي.
التعقيد: الكيانات المعقّدة تمتلك أجزاءً متحرّكة أكثر من الكيانات البسيطة، وتلك الأجزاء مرتبطة بطرق دقيقة تؤدّي إلى خصائص بازغة جديدة.
اللُّب: المنطقة المركزية الأشد كثافة في كوكب الأرض، وتتكوّن في أغلبها من الحديد والنيكل، وهي مصدر المجال المغناطيسي للأرض.
إشعاع الخلفيّة الميكروني الكونيّ: الإشعاع المتخلّف عن اللحظة التي تشكّلت فيها أولى الذرات، بعد مرور نحو ٣٨٠ ألف عام على الانفجار العظيم، ولا يزال من الممكن رصد هذا الإشعاع اليوم وهو أحد الأدلة الحاسمة التي يعتمد عليها علم كونيات الانفجار العظيم.
علم الكونيّات: دراسة الكون وتطوّره.
القشرة الأرضيّة: الطبقة السطحية لكوكب الأرض، وتتكوّن في معظمها من الصخور الأخف كالجرانيت والبازلت والتي بردت بما يكفي لكي تتصلّب، والقشرة هي المكان الذي تعيش عليه غالبية الكائنات.
الطاقة المظلمة: طاقة ليس مفهومًا بعد طبيعتها أو مصدرها، لكنها مسؤولة عن التمدّد المتسارع للكون وعن نحو ٧٠ بالمائة من كتلة الكون.
المادّة المظلمة: مادّة يمكن رصد تأثيرات الجاذبية الخاصّة بها لكن مصدرها وشكلها ليسا مفهومين تحديدًا بعد، وهي مسؤولة عن نحو ٢٥ بالمائة من كتلة الكون.

التحوّل الديموغرافي: في الأزمنة الحديثة، أدت معدلات الوفيات المنخفضة إلى دفع النمو السكاني، غير أن زيادة التحضُّر أدت في النهاية إلى انخفاض معدلات الخصوبة، لذا فإن النمو السكاني يتباطأ اليوم، وقد غيّر التحوّل الديموغرافي من التوجّهات نحو العائلات وأدوار الجنسين التي كانت مهيمنة في المجتمعات الزراعية.

التمايز: العملية التي بموجبها سخنت الأرض المبكرة، وانصهرت، ثم تراتبت في طبقات ذات كثافة متناقصة، منها اللب والوشاح والقشرة الأرضية.

الـ«دي أن آيه»: الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسيجين، وهو الجُزَيْء الذي يحمل المعلومات الوراثية لغالبية الكائنات الحية.

التدجين: التعديل الوراثي لنوع بحيث يتطوّر على نحو مشترك مع نوع آخر، وهي عملية أساسية للزراعة.

تأثير دوبلر: التغيّر الظاهري في تردّد الإشعاع المنطلق من الأجسام المقتربة أو المبتعدة عن بعضها، ويُستخدَم في كواشف السرعة التي تستخدمها الشرطة، وكذلك في رصد حركة النجوم والمجَرّات التي تقترب من الأرض أو تبتعد عنها.

كوكب الأرض: الكوكب الذي نعيش عليه، بما في ذلك حمولته المتفردة من الكائنات الحية.

الكهرومغناطيسية: واحدة من الصّور الأربع الأساسية للطاقة. وهي قوية على المستويات الصغيرة، ولها صورتان، موجبة وسالبة، وهي الصورة الأهمّ من الطاقة في الكيمياء والبيولوجيا.

الإلكترون: جُسَيْم دون ذرّي سالب الشحنة، يدور عادة حول نواة الذرّة.

العنصر: صورة أساسيّة من المادّة الذريّة. كل عنصر يتميّز بعدد خاص من البروتونات في نواته، ويتم تصنيف العناصر داخل الجدول الدوري وفق سماتها المميّزة، ويوجد اثنان وتسعون عنصرًا مستقرًّا.

الظهور: انظر الخصائص البازغة.

الخصائص البازغة: خصائص جديدة تظهر عند ربط البنى الموجودة بالفعل معًا من أجل تكوين بنى جديدة لها خصائص لم تكن موجودة في البنى المكوِّنة لها. على سبيل المثال، النجوم لها خصائص ليست موجودة في المادّة الذرّية التي تكوّنت منها.

الطاقة: قدرة الأشياء على الحدوث أو الحركة أو التغيير. في كوننا، للطاقة أربع صور أساسية -الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة- لكنّها توجد كذلك في صورة طاقة مظلمة.
الإنتروبيا: ميل الكون إلى أن يكون أقل تنظيمًا بما يتوافق مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية.
الإنزيم: جُزَيْء بيوكيميائي يعمل عمل المادّة الحفازة المحفِّزة، بحيث يسهل التفاعلات داخل الخلايا، تلك التفاعلات التي من دونها كانت ستتطلّب طاقة تنشيط أكبر بكثير كي تحدث.
حقيقيات النوى: واحدة من نطاقات الحياة الثلاثة الرئيسية، وتتألف من خلايا فيها عضوانيات داخلية. تطوّرت أولى حقيقيات النّوى عن طريق اندماج بين كائنين من نطاقي الحياة الآخرين (بدائية النوى)، وهما العتائق والبكتيريا، وكل الكائنات عديدة الخلايا تتكوّن من خلايا حقيقية النوى. انظر أيضًا العتائق والبكتيريا وبدائيات النوى.
الهلال الخصيب: القوس المكوَّن من أراضٍ جيدة الرّي حول منطقة ما بين النهرين، وهي المنطقة التي شهدت ظهور الزراعة للمرّة الأولى.
الزراعة باستخدام الشعلات: تقنية تعود إلى العصر الحجري القديم قائمة على إحراق الأراضي دوريًّا من أجل زيادة الإنتاجية.
القانون الأوّل للديناميكا الحراريّة: انظر الديناميكا الحراريّة.
الصيد والجَمْع: تقنيات سادت في العصر الحجريّ القديم، مبنية على جمع الموارد من البيئة ووجود قدر قليل من المعالجة.
الوقود الأحفوري: مواد عضوية متحجّرة ومدفونة، تتألف بالأساس من الفحم والنفط والغاز الطبيعي، وهي تحتوي على مخزون عتيق من الطاقة الآتية من التمثيل الضوئي، وهي المصدر الرئيسي للطاقة في العالم الحديث.
الطّاقة الحرّة: طاقة لا تتدفّق عشوائيًّا ومن ثم يمكنها القيام بشغل (على سبيل المثال طاقة المياه المتدفقة عبر توربين).
الاندماج: يحدث الاندماج عندما يصطدم بروتونان بعنف شديد بحيث يتغلّبان على التنافر بين شحنتيهما الكهربيتين الموجبتين، ويتّحدان معًا بواسطة القوّة النووية القويّة، ويكون الاندماج مصحوبًا بإطلاق كمية هائلة من الطاقة مع تحول قدر من المادة إلى طاقة. والاندماج هو مصدر طاقة القنبلة الهيدروجينية وطاقة النجوم.

المجَرّة: مجموعة من ملايين أو مليارات النجوم تُبقيها قوة الجاذبية معًا، والمجَرّة التي نوجد فيها هي مجَرّة درب التبانة.
الحالة الغازيّة: حالة من حالات المادّة تكون فيها الجُزَيْئات أو الذرات المنفردة ليست مرتبطة معًا في إحكام.
الجينوم: المعلومات المخزنة داخل الـ«دي إن آيه» بكلّ خليّة، والتي تنظّم كيفية عملها وتسمح بصنع نسخ طبق الأصل من نفسها.
العولمة: النطاق المتزايد لشبكات التبادل التي بدأت، بعد العام ١٥٠٠ ميلادية، تربط العالم أجمع معًا.
الظروف المثالية (ظروف جولديلوكس): الشروط المسبقة الخاصة والنادرة والبيئات الملائمة تمامًا بحيث تسمح بظهور شكل جديد من أشكال التعقيد.
الجاذبية: واحدة من الصور الأربع الأساسية للطّاقة، وهي قوّة ضعيفة، وتعمل عبر مساحات مكانية شاسعة وتميل إلى جذب كل شيء له كتلة أو طاقة معًا. وقد أثبت آينشتاين أن الجاذبية تعمل عن طريق إحناء هندسة الزمكان.
غازات الدفيئة: غازات مثل ثاني أوكسيد الكربون والميثان تمتصّ الطّاقة من ضوء الشمس وتحتفظ بها، وعندما توجد هذه الغازات بكميات وفيرة فإنها تميل إلى رفع درجات حرارة سطح الأرض.
الدهر الجهنمي: أحد الأقسام الأربعة الرئيسية في تاريخ كوكب الأرض، وقد بدأ منذ ٤,٦ مليار عام، حين تكوّنت الأرض للمرة الأولى، وانتهى منذ نحو ٤ مليارات عام.
نصف العمر: الزمن الذي يستغرقه تحلّل نصف أحد النظائر المشعّة. وهو مفهوم مهم في التأريخ الإشعاعي، لأن أنصاف العمر المختلفة تتيح استخدام النظائر المختلفة في تحديد تواريخ الحوادث والأشياء في نطاقات زمنية متباينة.
الطّاقة الحراريّة: هي طاقة الحركة (أو الطاقة الحركية) التي تسبب الاهتزاز العشوائي لكل جُسَيْمات المادّة، وتفقد المادة كل طاقتها الحرارية في درجة حرارة الصفر المطلق. انظر درجة الحرارة.
الهليوم: عنصر كيميائي عدده الذرّي ٢ (يوجد بروتونان في نواته). وهو ثاني العناصر وفرة في الكون، وهو عنصر خامل كيميائيًّا.
مخطط هرتزبرونج-راسل: مخطط يوضح البريق أو السطوع الحقيقي للنجوم (مقدار الطاقة التي تطلقها) في مقابل لونها (أو درجة حرارة سطحها)، بالنسبة

إلى الفلكيين هذه وسيلة قوية للغاية لتصنيف الأنواع المختلفة من النجوم والطرق المختلفة التي تتطوّر النجوم بها.

عصر الهولوسين: الحقبة الجيولوجية الممتدّة منذ آخر العصور الجليدية، وتبدأ منذ ١١٧٠٠ عام مضت.

الاستتباب: حالة من الاتزان، وتحافظ الكائنات الحيّة على الاستتباب عن طريق استشعار التغييرات في بيئتها والتأقلم مع هذه التغييرات.

أشباه البشر: قردة تمشي على قدمين، وهي أسلاف نوعنا الحالي وتطوّرت منذ أن افترق أسلافنا عن السلالة التطوّرية المؤدية إلى الشمبانزي، منذ نحو سبعة ملايين عام.

الإنسان العاقل: نوع القردة العليا الذي ينتمي إليه كل قرّاء هذا الكتاب.

البشر: أفراد نوع الإنسان العاقل.

الهيدروجين: عنصر كيميائي عدده الذري ١ (يوجد بروتون وحيد في نواته)، وهو أكثر العناصر وفرة في الكون.

العصور الجليديّة: حقبة من العصور الجليديّة تتخلّلها فترات من الدفء بدأت منذ نحو ٢,٦ مليوني عام، مع بداية عصر البليستوسين.

التضخّم: من المنظور الكوني، هو فترة من التمدّد الفائق السرعة للكون، حدثت في الثانية الأولى عقب الانفجار العظيم.

المعلومات: القواعد الأساسية التي تحدّد كيفية حدوث التغيير. بعض هذه القواعد كونية، غير أن الكائنات الحيّة بحاجة إلى أن تكون قادرة على رصد المعلومات «المحلية» والتفاعل معها، أي القواعد التي تعمل فقط في بيئاتها المباشرة. يمكن أن تشير المعلومات أيضًا إلى المعرفة بكيفية عمل الأشياء.

كائنات مستهلكة للمعلومات: كيانات تستهلك المعلومات مثلما تستهلك الكائنات الآكلة للحوم اللحوم، وكل الكائنات الحيّة مستهلكة للمعلومات.

النظير: ذرات العنصر نفسه ولها نفس عدد البروتونات لكن عدد النيوترونات بها مختلف.

التدريج الكلفيني: مثل التدريج المئوي لكنه يبدأ من الصفر المطلق (سالب ٢٧٣,١٥ درجة مئوية)، ونقطة تجمد الماء هي ٢٧٣,١٥ درجة كلفينية أو درجة الصفر المئوية.

الحياة: الخاصّية البازغة التي تتشاركها كل الكائنات الحيّة. من الصعب تعريفها بدقة، لأننا لا نعلم إلا بشأن الحياة الموجودة على كوكب الأرض، غير أن سماتها تتضمّن القدرة على الحفاظ والاستتباب والأيض والتناسل والتطور.

السنة الضوئية: المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال سنة واحدة من السنوات الأرضية، وتبلغ نحو ٩,٥ تريليون كيلومتر.

الحالة السائلة: حالة مائعة للمادة تكون فيها الذرات أو الجُزَيْئات مترابطة معًا لكن يمكنها التدفق بجوار بعضها البعض، وتتّخذ السوائل شكل الوعاء الذي يحتوي عليها.

السلف الشامل الأخير: آخر سلف عام مشترك، وهو سلف مُستدلّ على وجوده لكل الكائنات الحيّة على الأرض.

الوشاح: الطبقة شبه المنصهرة للأرض الواقعة أسفل القشرة الأرضية وأعلى اللب، ويبلغ سُمكها نحو ثلاثة آلاف كيلومتر.

الخريطة: في الاستخدام العام، هي تصوير تخطيطي لمشهد طبيعي أو منطقة جغرافية، وعادة ما تُستخدم هنا بمعنى مجازي كي تعني الصورة التي ننشئها للمكان والزمن وللكون كلّه ولتاريخه من أجل تحديد موقعنا في المخطّط العام للأشياء.

المادة: الأشياء الملموسة الموجودة في الكون وتحتلّ مساحة. أوضح آينشتاين أن المادّة تتألف من طاقة مضغوطة ويمكن تحويلها مجدّدًا إلى طاقة (كما يحدث خلال اندماج البروتونات مثلًا).

الحيوانات الضخمة: الحيوانات الكبيرة التي دُفع كثير منها إلى الانقراض في أواخر العصر الحجري القديم بعد وصول البشر إلى أستراليا وسيبيريا والأمريكتين.

الأيض: قدرة الكائنات الحيّة على الوصول إلى تدفّقات الطاقة الآتية من البيئة المحيطة بها واستغلالها.

عديدات الخلايا: الكائنات عديدة الخلايا، أو «الحياة المعقّدة».

النيزك: جزء من الحطام الفضائي يهبط على الأرض، غالبية النيازك لم تتغيّر تقريبًا منذ نشأة المجموعة الشمسية، لذا فهي تقدّم معلومات حول تكوّن المجموعة الشمسية وتطوّرها.

دورات ميلانكوفيتش: تفاوتات في مدار ومَيْل كوكب الأرض تؤثّر على مقدار الطاقة التي يتلقاها من الشمس، وهذه التفاوتات تساعد في تفسير دورة العصور الجليدية خلال عصر البليستوسين.
الجُزَيْء: عدد من الذرات مرتبطة معًا بروابط كيميائية.
القمر: الجرم الكوكبي الذي يدور حول الأرض، وتشكّل نتيجة اصطدام مع جرم كوكبي آخر بعد تكوّن الأرض.
الكون المتعدّد: فكرة تخمينية مفادها أنه ربما يوجد عدد من الأكوان، ربما ذات قوانين أساسية وصور من الطاقة مختلفة قليلًا.
النطوفيون: المصطلح الأثري الذي أُطلق على «مجتمعات الصيد والجمع الرغدة» التي كانت تعيش في منطقة الهلال الخصيب شرقي المتوسط في الفترة المتراوحة بين ١٤٥٥ و١١٥٠٠ عام مضت تقريبًا.
الانتخاب الطبيعي: فكرة تشارلز داروين المحورية القائلة بأن الكائنات الحيّة تحيا وتتناسل أو تفشل في ذلك اعتمادًا على مقدار تكيّفها مع البيئة، وهذه الآلية هي المحرّك الأساسي للتطور.
النيوترون: جُسَيْم دون ذري يوجد عادة في نواة الخليّة، وله كتلة تساوي كتلة البروتون غير أنه متعادل الشحنة الكهربية.
النّواة: القلب الكثيف للذرّة، وتوجد بها البروتونات والنيوترونات.
النظام (البنية): ترتيبات غير عشوائية أو منظّمة للمادّة والطّاقة.
قصّة الأصل: قصّة تطوّر كل المكان والزمن استنادًا إلى أفضل معرفة يمتلكها أي مجتمع بعينه، وقصص الأصل جزء أساسي من كل الديانات الكبرى والتقاليد التعليمية، وتعد وسيلة قوية لفهم موضع المرء في المكان والزمن.
الأوكسيجين: عنصر كيميائي، عدده الذري ٨، وهو متفاعل بقوة.
العصر الحجري القديم: حقبة التاريخ الإنساني الممتدة من الظهور الأول لنوعنا، منذ نحو مائتي ألف عام مضت وحتى نهاية آخر العصور الجليدية وبداية الزراعة، منذ نحو أحد عشر ألف عام مضت.
بانجايا: القارة الضخمة التي كانت موجودة في الفترة بين ثلاثمائة ومائتي مليون عام مضت.
النموذج الإرشادي: فكرة مقبولة على نطاق واسع من جانب الباحثين في أي مجال دراسة بعينه، وهي توحّد المعلومات داخل هذا المجال، ومن أمثلة ذلك علم كونيّات

الانفجار العظيم (علم الفلك)، وحركة الصفائح التكتونية (الجيولوجيا)، والانتخاب الطبيعي (الأحياء). وهذا المصطلح مبني على عمل المؤرخ العلمي تي إس كون.
التخاطل: الحركة الظاهرية للجسم في مقابل خلفيته مع حركة الراصد، ويستخدمه المسّاحون وعلماء الفلك لحساب المسافة إلى الأجرام أو النجوم القريبة.
الجدول الدوري: جدول العناصر الكيميائية، كان أول من وضعه ديميتري مندليف، وهو يجمع العناصر ذات السمات المشتركة معًا.
دهر البشائر: أحد الأقسام الأربعة الرئيسية في تاريخ كوكب الأرض، ويمتد من ٥٤٠ مليون عام مضت إلى اليوم، وهي حقبة الكائنات الضخمة أو «الحياة المعقّدة».
التغيّر الطوري: تغيّر في الحالة، على غرار التغير من الحالة الغازية إلى السائلة أو الصلبة.
الفوتون: جُسَيْم عديم الكتلة للطاقة الكهرومغناطيسية يتحرّك بسرعة الضوء في الفراغ وله خصائص شبه مَوجية كذلك.
التمثيل الضوئي: اقتناص الطاقة من ضوء الشمس بواسطة النباتات أو كائنات شبيهة بالنباتات من أجل تزويد عملية الأيض بالطاقة.
الكوكب: جرم فلكي يدور حول نجم غني بالعناصر الكيميائية.
البلازما: حالة من حالات المادّة تكون فيها درجة الحرارة عالية للغاية إلى درجة أن الجُسَيْمات دون الذرّية تعجز عن الاتحاد معًا لتكوين ذرات.
حركة الألواح التكتونية: فكرة قائمة على نموذج إرشادي ظهرت في ستينيات القرن العشرين من أجل تفسير كيف تسبب تيارات الحمل داخل طبقة الوشاح، التي تحرّكها الحرارة الموجودة في لب الأرض، حركة الألواح التكتونية على سطح الأرض.
عصر البليستوسين: الحقبة الجيولوجية الممتدّة منذ نحو ٢٫٦ مليوني عام إلى نحو ١١٧٠٠ عام مضت، وهيمنت عليها العصور الجليدية.
بدائيات النوى: كائنات وحيدة الخلايا عديمة النوى، تنتمي إلى نطاقي البكتيريا والعتائق، وهي أول أشكال الحياة على الأرض. انظر حقيقيات النوى.
دهر الطلائع: أحد الأقسام الأربعة الرئيسية في تاريخ كوكب الأرض، ويمتد من نحو ٢٥٠٠ مليون عام إلى ٥٤٠ مليون عام مضت.

البروتون: جُسَيْم دون ذري موجب الشحنة يوجد في نواة الذرة، وعدد البروتونات يحدّد العدد الذري للعنصر.
فيزياء الكم: دراسة الظواهر على المستوى دون الذري، حيث يكون من المستحيل تحديد موضع أو حركة الجُسَيْمات بدقة، لذا لا بد أن تُصاغ القوانين الفيزيائية على صورة احتمالات.
الكوارك: جُسَيْم دون ذري يتكوّن منه البروتونات والنيوترونات بواسطة القوّة النووية القوية.
النشاط الإشعاعي: ميل العديد من الأنوية الذرية إلى التحلّل تلقائيًّا، مطلقةً جُسَيْمات دون ذرية.
التأريخ الإشعاعي: أسلوب للتأريخ جرى تطويره في منتصف القرن العشرين ويعتمد على التحلّل الدوري للنظائر المشعة، الخط الزمني لهذا الكتاب لم يكن من الممكن بناؤه من دون أساليب التأريخ الإشعاعي.
العملاق الأحمر: نجم محتضر، كالنجم منكب الجوزاء في كوكبة الجبار، تمدّد وصار سطحه أبرد (أشد حُمرة).
الإزاحة الحمراء: انزياح خطوط الامتصاص نحو الطرف الأحمر للطيف، وهو مؤشّر على أن الجرم السماوي يبتعد عن الأرض. وهذا دليل دامغ على أن الكون آخذ في التمدّد.
الدين: تقاليد روحية، بعضها ذو درجة تنظيم مؤسسية عالية، كلها يبدو أنها تضم في ثناياها قصة أصل من نوع ما.
التنفّس: استنشاق الأوكسيجين من جانب الحيوانات، أيضًا استخدام الأوكسيجين في الخلايا لتحرير الطاقة المختزنة في السكريات.
الآر إن إيه: الحمض النووي الريبوزي، قريب الشبه بالـ«دي إن آيه»، وهو موجود في كل الخلايا ويستطيع حمل المعلومات الوراثية والقيام بعملية الأيض.
العلم: التقاليد الحديثة للدراسة الصارمة والمبنية على الأدلة للعالم والكون، وجرى تطويره منذ الثورة العلمية في القرن السابع عشر.
القانون الثاني للديناميكا الحرارية: انظر الديناميكا الحرارية.
الاستقرار: طرق حياة غير بدوية، يكون فيها الأفراد والعائلات مستقرين بالقرب من موطن دائم. عادة ما يكون هذا النمط مرتبطًا بالزراعة، لكن أحيانًا يرتبط بحياة مجتمعات الصيد والجمع الرغيدة.

الرياح الشمسية: تدفّق الجُسَيْمات دون الذرية من الشمس.
الحالة الصلبة: إحدى حالات المادة تكون فيها الذرات والجُزَيْئات مترابطة معًا في إحكام بحيث تعجز عن تغيير مواضعها.
الزمكان: ذهب آينشتاين إلى أن السبيل الأمثل لفهم المكان والزمن هو النظر إليها باعتبارهما جزءًا من إطار كوني واحد، يطلق عليه الزمكان.
منظار التحليل الطيفي: أداة تحلّل الضوء إلى تردّدات متمايزة، وتستخدَم في تحديد التركيب الكيميائي للأجرام السماوية.
النجم: جرم فلكي يتكوّن حين تبدأ تفاعلات الاندماج في الحدوث في قلب جسم من المادة، وعادة ما تسبّب الجاذبية تجمُّع النجوم في مجَرّات.
القوّة النووية القويّة: واحدة من الصور الأربع الأساسية للطاقة. تعمل على النطاقات دون الذرية، وتربط الكواركات معًا كي تشكّل البروتونات والنيوترونات وتعمل على إبقاء نوى الذرات متّحدة.
الجُسَيْمات دون الذرية: مكوِّنات الذرات، كالبروتونات والنيوترونات والإلكترونات.
الشمس: النجم الذي يدور حوله كوكبنا، وهو مصدر غالبية الطاقة التي يقوم عليها الغلاف الحيوي.
المستعر الأعظم: انفجار ضخم في نهاية حياة نجم كبير، وكثير من العناصر الكيميائية جرى تخليقها داخل المستعرات العظمى.
التكافل: علاقة اعتماد متبادل بين نوعين من الكائنات تتّسم بكونها وثيقة إلى درجة أن كل نوع منهما يبدأ في التأثير على الكيفية التي يتطور بها النوع الآخر، وعلاقة الإنسان بالنباتات والحيوانات المُدجَّنة هي صورة من صور التكافل.
درجة الحرارة: في الاستخدام العلمي، هي مقياس لمتوسط طاقة الحركة (الطاقة الحركية) للذرات التي يتكون منها الشيء.
الديناميكا الحرارية: دراسة الكيفية التي تتدفّق بها الطاقة وتغيّر شكلها. القانون الأول للديناميكا الحرارية ينص على أن إجمالي الطاقة داخل الكون ثابت أو «محفوظ»، وينصّ القانون الثاني على أن الطاقة تميل إلى اتخاذ صور عشوائية أو فوضوية متزايدة، وبذا تكون النزعة الطويلة المدى للكون هي في اتجاه العشوائية أو زيادة الإنتروبيا. انظر الإنتروبيا.

محطّات على طريق التعقيد المتزايد: لحظات انتقالية يظهر فيها شيء جديد وأكثر تعقيدًا، له خصائص بازغة، والقصة التي نرويها في هذا الكتاب مبنية على ثماني محطّات رئيسية على طريق التعقيد المتزايد.

مستوى غذائي: مستوى في السلسلة الغذائية التي يجري عبرها نقل الطاقة من النباتات إلى الحيوانات العاشبة ثم إلى الحيوانات اللاحمة ثم إلى النخبة في المجتمعات البشرية، وتضيع كميات كبيرة من الطاقة عند كل مستوى ولهذا فإن عدد أفراد كل مستوى أعلى يكون دائمًا أصغر.

المستعرات العظمى من النوع ١a: نوع من المستعرات العظمى يكون سطوعه الحقيقي معروفًا، ومن ثم يمكن استخدامه كشمعة معيارية فلكية.

الكون: إجمالي كل الأشياء التي نمتلك عنها معرفة مبنية على الأدلّة، وتكون نتيجة للانفجار العظيم.

القوّة النووية الضعيفة: واحدة من الصور الأربع الأساسية للطاقة، وتعمل على المستويات دون الذرية وهي مسؤولة عن العديد من أشكال التحلّل الإشعاعي.

القزم الأبيض: نجم ميت عالي الكثافة انفجرت طبقاته الخارجية وسيبرد على مدار مليارات عدة من الأعوام.

الشغل: في نظرية الديناميكا الحرارية، هو القدرة على توليد تغيير غير عشوائي.

المناطق العالمية: مناطق كبيرة من العالم المسكون (المنطقة الأفرو-أوراسية، وأستراليا، والأمريكتين، والمحيط الهادئ) كانت منفصلة عن بعضها بالكامل تقريبًا قبل العام ١٥٠٠، ومن ثم فقد تطوّر التاريخ على نحو منفصل في كل منطقة عالمية منها.

عن المؤلف

ديفيد كريستيان، أستاذ التاريخ المبجل بجامعة ماكواري ومدير معهد التاريخ الجامع التابع لجامعة ماكواري. شارك في تأسيس «مشروع التاريخ الجامع» مع بيل جيتس، وتحظى محاضراته المفتوحة التي يلقيها عن طريق الإنترنت عبر موقع كورسيرا بالشعبية في كل أنحاء العالم، وشارك في إنشاء كلية التاريخ الجامع في جامعة ماكواري. وقد ألقى كلمات رئيسية في عدة مؤتمرات حول العالم، منها منتدى دافوس الاقتصادي العالمي وحظيت محاضرة TED التي ألقاها بأكثر من ثمانية ملايين مشاهدة. وقد ألَّفَ عددًا كبيرًا من الكتب والمقالات.

انتهيت من قراءة كتاب:

قصة الأصل: تاريخ جامع لكلّ شيء

دار التنوير للطباعة والنشر والتوزيع

قيم الكتاب